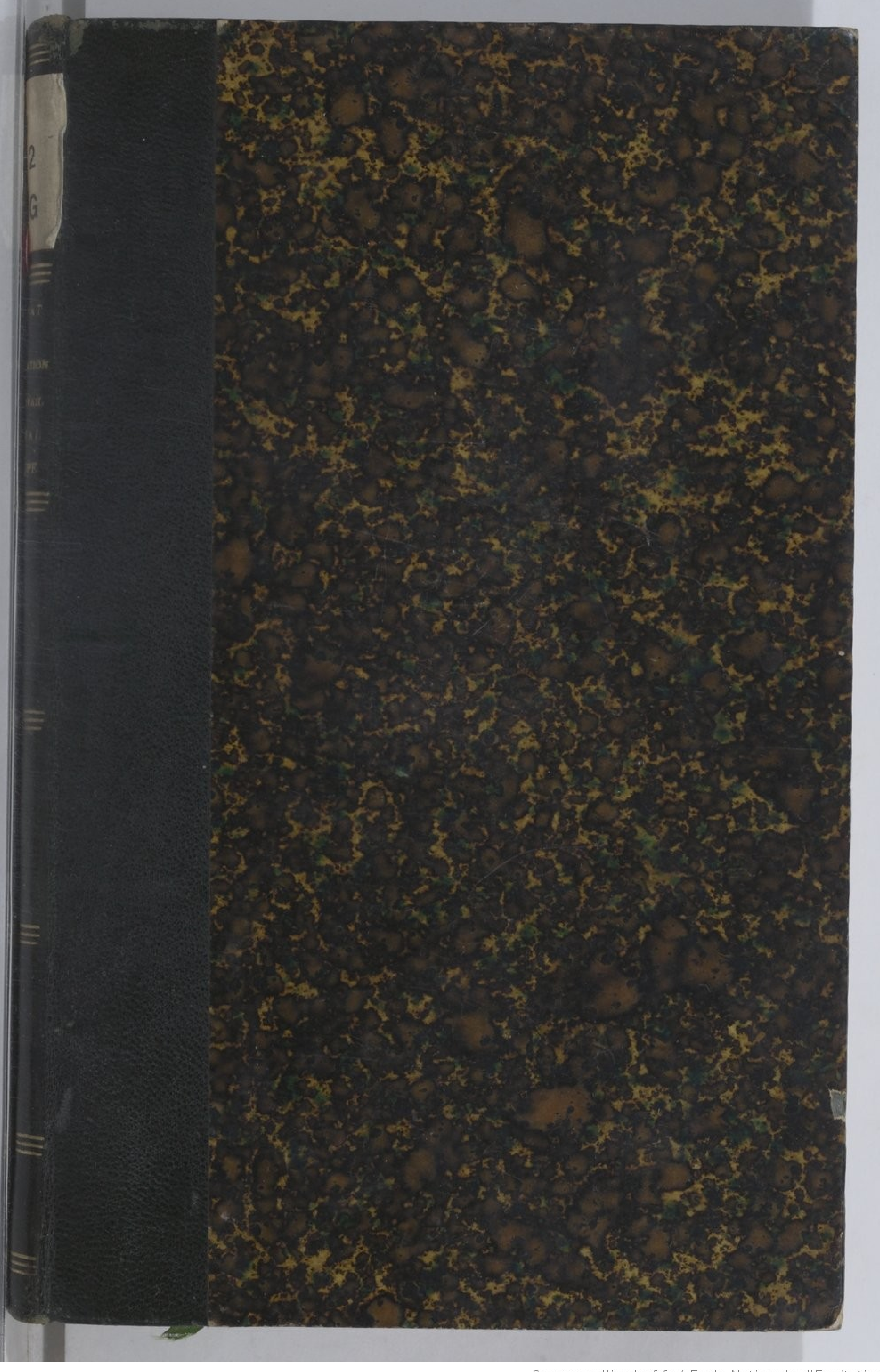
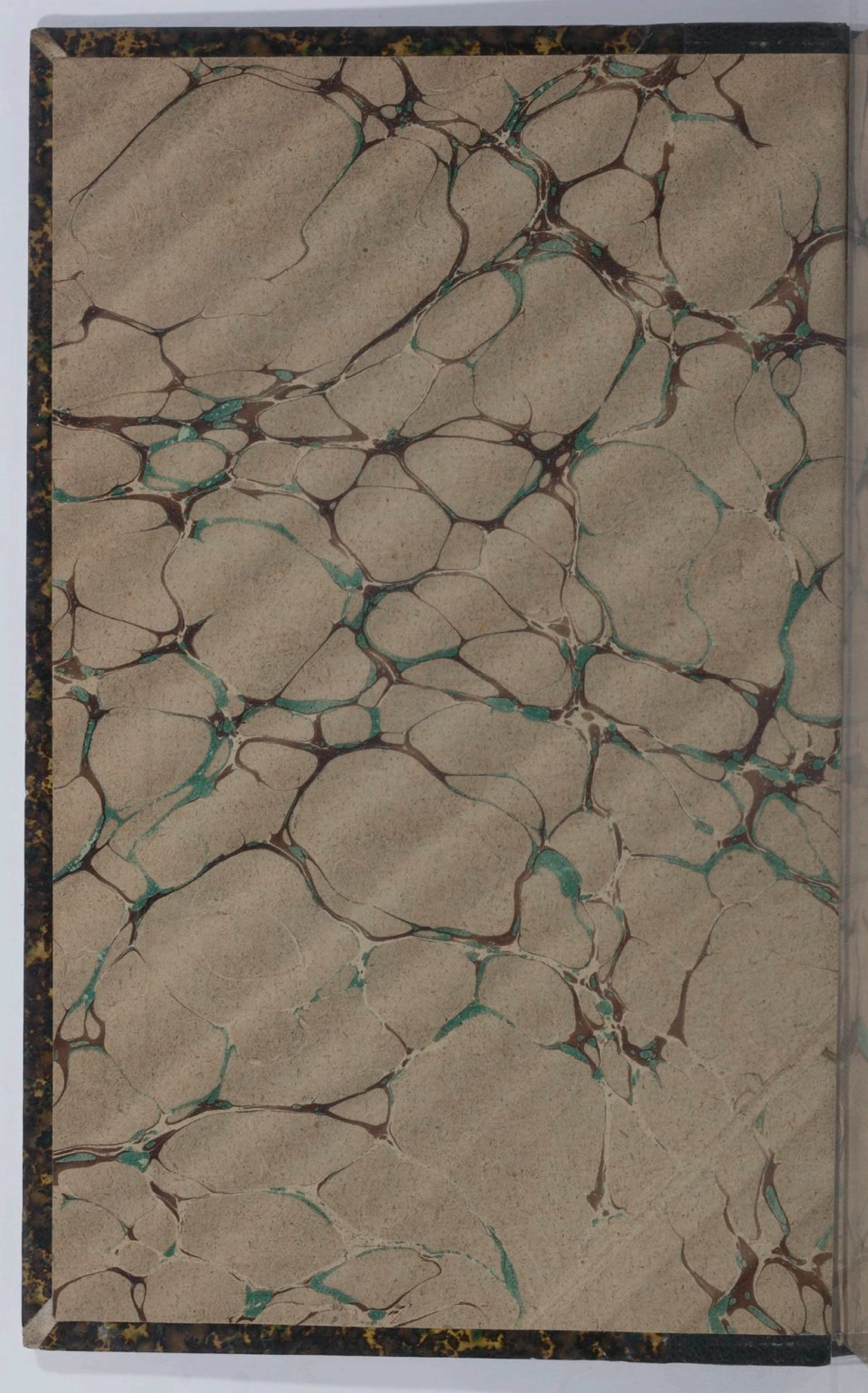
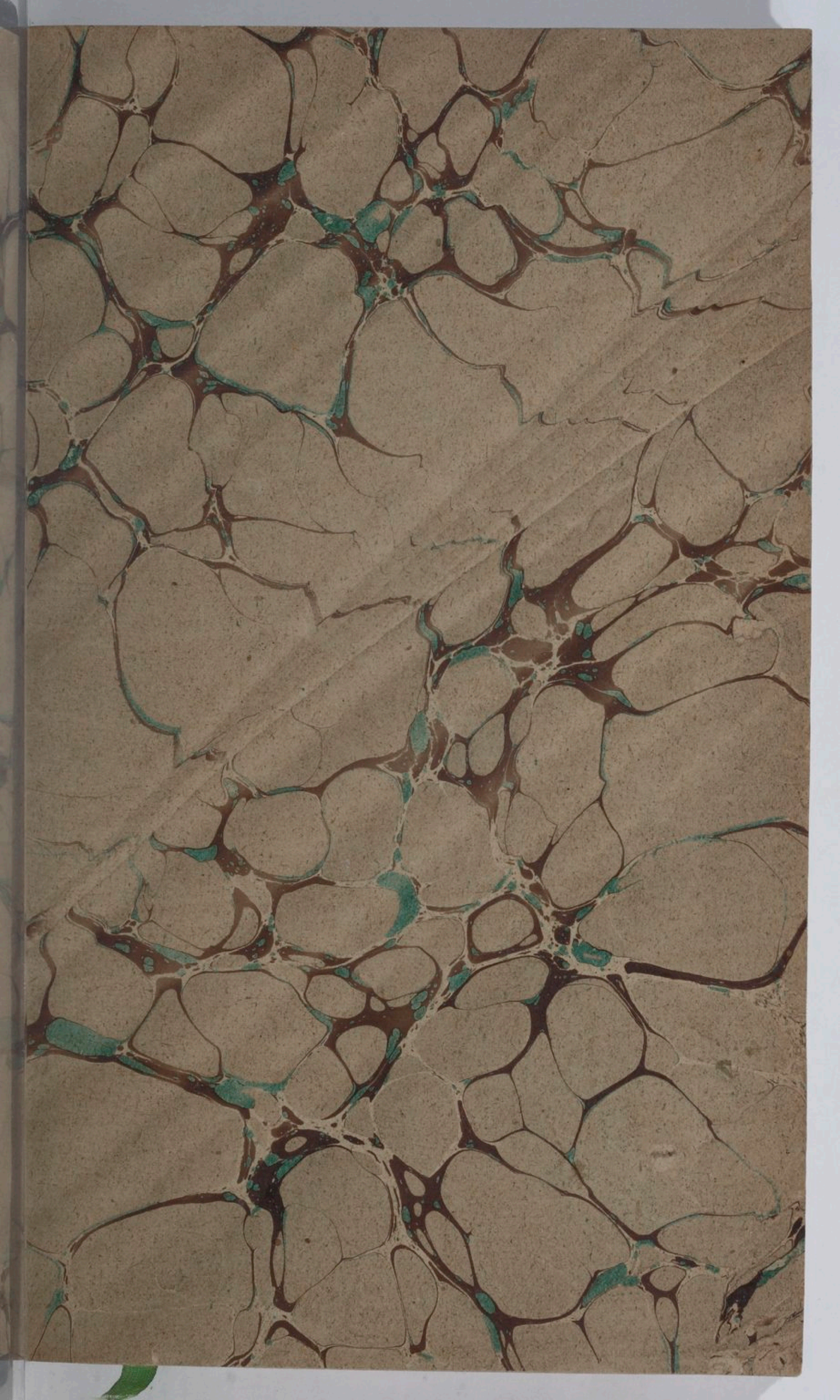
Études et recherches sur l'alimentation et le travail du cheval de troupe, par le Dr Rigollat,...











ÉTUDES ET RECHERCHES

SUR

L'ALIMENTATION ET LE TRAVAIL

DU CHEVAL DE TROUPE

OUVRAGE COURONNÉ PAR LE MINISTRE DE LA GUERRE

PREMIER PRIX : MÉDAILLE D'OR DE 500 FR.

ÉTUDES ET RECHERCHES

SUR

L'ALIMENTATION ET LE TRAVAIL

DU CHEVAL DE TROUPE

PAR

Le Dr RIGOLLAT, Vétérinaire militaire

ANCIEN PROFESSEUR A L'ÉCOLE DES HARAS

OFFICIER D'ACADÉMIE, CHEVALIER DU MÉRITE AGRICOLE





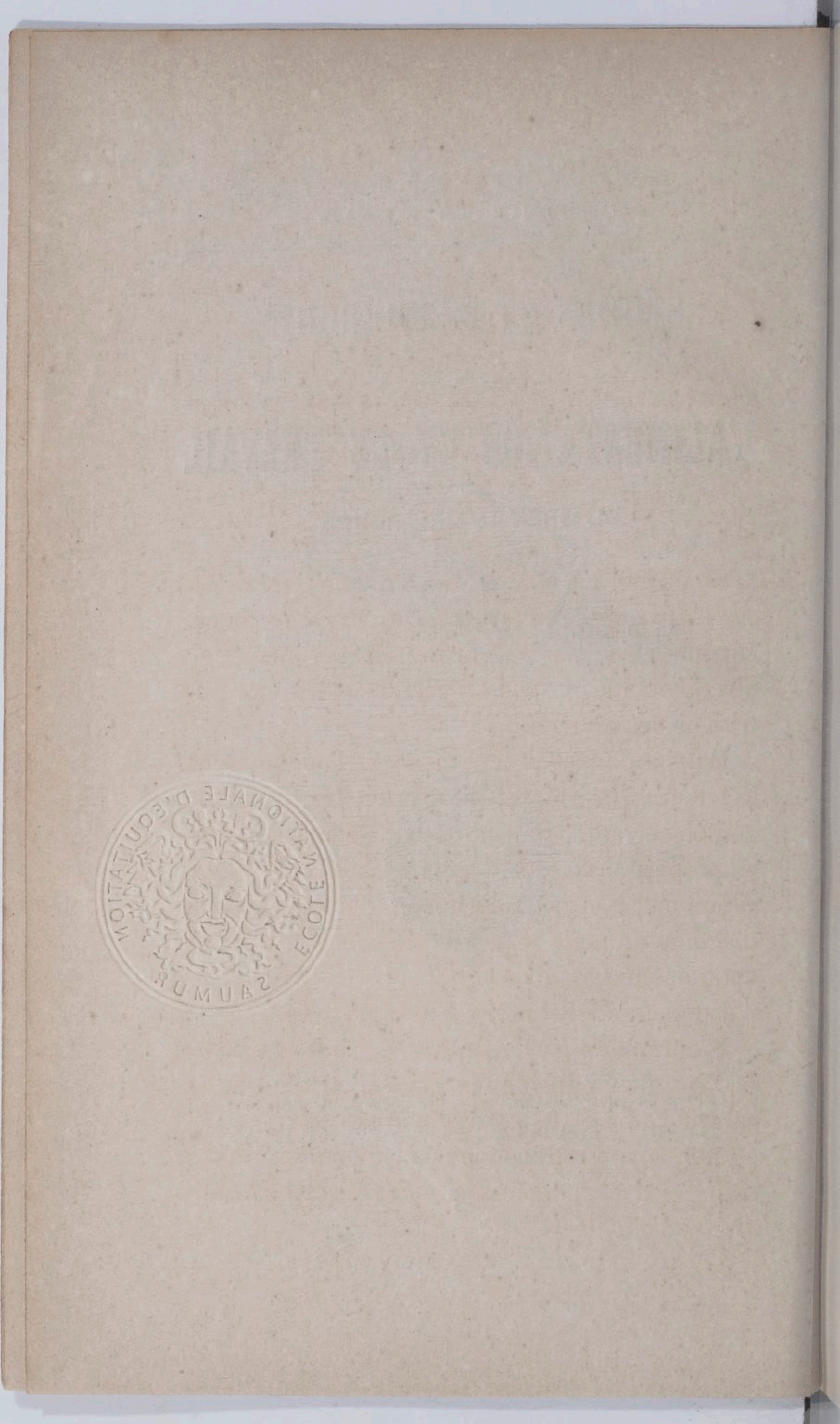
PARIS
11, *Place St-André-des-Arts.*

LIMOGES
Nouvelle route d'Aixe, 46

HENRI CHARLES-LAVAUZELLE

Éditeur militaire.

1893



RAPPORT

adressé au Ministre de la Guerre par la Section technique de la Cavalerie sur le mémoire présenté au concours par M. RIGOLLAT, *Vétérinaire militaire.*

Ce mémoire a pour titre : *Etudes et recherches sur l'alimentation et le travail du cheval de troupe*, et pour devise : « C'est surtout l'expérimentation physiologique qui nous révèle les propriétés nutritives des aliments. »

Dans un avant-propos modeste, l'auteur trace le but qu'il s'est proposé d'atteindre : celui de démontrer que l'alimentation du cheval doit être en proportion avec son travail, assurer la réparation de l'énergie consommée, l'entretien de la machine animale et le perfectionnement de ses aptitudes mécaniques.

Le mémoire est divisé en deux parties.

La première partie embrasse l'étude de la digestion, de l'alimentation, de la nutrition, de la calorification et du travail musculaire.

Après avoir retracé avec soin, quoique à grands traits, les phénomènes préparatoires, mécani-

ques, et les phénomènes essentiels, chimiques, de la digestion, l'auteur aborde l'étude des aliments.

Il établit tout d'abord, selon les doctrines modernes, la division des principes immédiats, qu'ils renferment en principes azotés ou quaternaires et en principes non azotés, ternaires ou hydrates de carbone et subordonne la valeur nutritive de l'aliment à la quantité et à la qualité de ces deux principes.

Puis il fait remarquer que l'on ne peut fixer cette valeur d'une façon absolument certaine par l'analyse chimique, car les matières azotées sont dosées en bloc, pour ainsi dire jointes à des composés azotés non assimilables ou *amibes;* et, de même dans les matières grasses, sont dosés des carbures d'hydrogène, des résines, etc.; mais que l'on s'approche sensiblement de la vérité.

Une table de von Gohren détaille la composition moyenne des substances employées dans l'alimentation du cheval de troupe, avec indication de leur richesse en matières minérales et des variations maxima et minima qu'elles peuvent présenter.

C'est ainsi que la relation nutritive ou digestive que représente la formule chimique $\frac{MA}{MNA}$ est susceptible de se modifier.

L'auteur signale le rapport qui doit exister entre le coefficient nutritif d'un aliment et la puissance d'assimilation de l'organisme aux différentes phases de la vie et montre, avec les chimistes allemands, l'influence qu'exerce cette relation nutritive sur la digestibilité.

Plus la relation entre ces deux termes est étroite, plus l'aliment est digestible.

Mais, toutefois, la digestibilité relative des principes alibiles de deux aliments n'étant comparable qu'à digestibilité absolue égale et celle-ci différant d'après leur relation nutritive, il est indispensable d'établir une digestibilité moyenne qui donnera la relation nutritive probable de l'aliment.

On ne peut l'obtenir qu'en évaluant la digestibilité relative des principes immédiats de l'aliment.

Différents expérimentateurs l'ont fait pour chacun d'eux, notamment Schneider, en France, pour les matières protéiques, avec plus de certitude que Stochman.

De l'ensemble de ces travaux, il résulte qu'on peut exprimer par un nombre en centièmes le coefficient de digestibilité de l'aliment, c'est-à-dire la proportion de substance que chaque principe

immédiat nutritif ou chaque aliment particulier fournit à l'assimilation.

Il est facile d'entrevoir, comme corollaire, qu'il peut s'établir — mais seulement entre les aliments de même nature, de provenance analogue et d'égale digestibilité, — des relations d'équivalence. En d'autres termes, certains aliments d'une même catégorie, soit bruts et grossiers, soit riches et concentrés, peuvent se remplacer entre eux, eu égard à leur effet nutritif, comme par exemple la paille de seigle et la paille d'avoine, le trèfle et la luzerne, l'orge et le maïs, mais non le foin et l'avoine, la paille et la farine d'orge, qui ne sont pas de même ordre.

Parallèlement au coefficient de digestibilité de l'aliment, on peut dresser la table des coefficients de digestion de l'animal.

Ceux-ci varient avec l'individualité; mais, dans chaque espèce, on peut déterminer l'aptitude digestive pour la protéine, les extractifs non azotés, la cellulose, etc.

Les différentes préparations que l'on fait subir aux aliments ont pour but d'augmenter l'un ou l'autre des coefficients.

Mais l'auteur fait, avec raison, une réserve pour l'avoine, qui ne se prête pas aux manipulations.

Le mélange ou plutôt la réunion d'un certain nombre d'aliments consommés en une journée constitue la *ration journalière,* où l'animal doit trouver la quantité et la qualité des matériaux qui lui sont nécessaires, mais dont la base, l'élément essentiel d'entretien doit être la nourriture que cet animal appète le plus à l'état de nature et qui, pour le cheval, est le bon foin de pré.

Une fois l'équilibre de la machine alimentaire assuré, il faut préparer, par l'augmentation des matières premières, la production du travail extérieur ou disponible.

Et comme une plus grande somme de l'aliment essentiel d'entretien aurait l'inconvénient de fournir une quantité de cellulose brute dont le volume est peu en rapport avec la capacité digestive de l'estomac et surtout avec la proportion de protéine nécessaire à la production de la force, il faut emprunter le complément de la ration aux aliments concentrés.

Cet aliment de force ou complémentaire est l'avoine pour le cheval.

La paille, riche en cellulose, fournit un résidu d'un lest suffisant à l'intestin et entre dans la composition de la ration comme aliment adjuvant.

Cet ensemble doit présenter une relation nutri-

tive convenable qu'il faut rechercher dans une heureuse proportion.

L'auteur cite comme exemple la ration d'état-major et des chevaux de réserve (foin 4, paille 4, avoine 5,050) du tarif de 1881 et montre qu'avec une augmentation d'avoine et de foin en remplacement de la paille, comme dans la ration de route, la relation digestive est plus favorable.

Pour ces données intéressantes, l'auteur a su tirer le plus grand parti des travaux de ses devanciers. Il a mis à profit les expériences de l'école allemande Haubner, de Stohmann, Gohren, Henneberg, Dietrich, etc., et des zootechniciens français : Beaudemont, Sanson, Grandeau, Schneider, etc., et il a résumé d'une façon parfaite ce que la science a recueilli de plus certain dans l'étude de ses rapports avec la production du travail.

Un chapitre est consacré à l'étude de l'absorption et des liquides nourriciers, le chyle et le sang.

L'auteur rappelle que la nutrition des éléments anatomiques composant les tissus s'opère par voie d'assimilation et d'échanges moléculaires qui constituent les phénomènes vitaux cellulaires, et que le renouvellement des matériaux nutritifs se complète par l'élaboration des

produits de sécrétion glandulaire (salive, suc gastrique, suc intestinal, etc.) nécessaires à la continuation de la vie.

Enfin, cette première partie se termine par deux intéressantes expositions des théories modernes sur la calorification et le travail musculaire et sur les conséquences qui en découlent.

C'est ainsi que l'on voit les différentes transformations cellulaires mettre en évidence le principe, l'attribut même de la matière et devenir sources *d'énergie*, dont les manifestations principales sont la chaleur animale et la contraction musculaire.

Ces deux forces sont en rapport direct avec la proportion digérée des subsistances alimentaires et peuvent se transformer par équivalence. C'est ainsi que la chaleur donne du travail et le travail de la chaleur.

Les causes de celle-ci sont sorties du domaine des hypothèses, nettement dégagées par les travaux des savants français tels que Berthelot, Chauveau, Muntz, Richet, etc.

Il n'en n'est pas de même de la contraction musculaire, dont le mécanisme seul connu, peut être rapporté à la théorie d'Alby, de l'onde musculaire, que les recherches de Marey ont confirmée.

L'excitation nerveuse tient cette contraction sous sa dépendance, et l'énergie potentielle qui la régit n'est autre que la chaleur introduite dans l'organisme par les aliments, la protéine principalement, et accumulée en tension dans le tissu musculaire; de même, cette énergie non utilisée se manifeste comme chaleur sensible en accroissant la température.

Ce dégagement de l'énergie implique la nécessité d'équilibrer la dépense des forces par les apports nutritifs, faute de quoi le poids de la machine diminue tandis que s'opère son usure prématurée.

La connaissance de l'équivalent mécanique des aliments rapporté à la quantité de protéine digérée permet d'évaluer le rendement de la ration en énergie potentielle.

Et, si, d'autre part, comme l'ont fait les généraux Morin et Poncelet, on calcule dynamométriquement la somme des efforts correspondant à un travail donné, on peut réduire en kilogrammètres l'équivalence d'une ration alimentaire, et réciproquement.

C'est sur ces données que repose la seconde partie du mémoire.

Cette deuxième partie est intitulée : *Production et exploitation de la force motrice.*

Elle se résume dans cette phrase que l'auteur a placée en vedette, et dont Ellemberger a démontré l'exactitude : « L'aptitude mécanique de la machine animale est en rapport avec sa capacité digestive. »

C'est, du reste, le mémoire du savant physiologiste de Dresde qui a provoqué, en décembre 1886, l'augmentation de la ration d'avoine dans l'armée allemande.

Les essais dynamométriques de Fritz, de Zurich, et de Sanson, en France, portent l'effort moyen du cheval à 83 kilogrammètres par seconde, quantité supérieure de 8 kilogrammètres à l'unité cheval-vapeur (75 kilogrammètres), qui a servi de base aux mécaniciens pour l'évaluation de la force des machines.

Ellemberger évalue à trois millions et demi de kilogrammètres le travail journalier du cheval en campagne et utilisant son maximum de capacité digestive.

Dans le chapitre de la décomposition du travail, l'auteur distingue :

1° Le travail intérieur des échanges moléculaires et des grandes fonctions de la vie, auquel suffit la ration d'entretien;

2° Le travail extérieur, exigeant le déplacement de la masse du corps et qui varie, non

seulement par la masse et la vitesse ou le chemin parcouru pendant l'unité de temps, comme dans les machines à vapeur, mais aussi suivant *l'allure* de la marche.

D'ingénieuses expériences de Sanson ont permis de constater que l'effort était au pas de 0.05 du poids vif, et, aux allures rapides, de 0.10;

3° Le travail disponible, que l'on calcule en soustrayant du travail total la somme des deux précédents.

L'utilisation du travail se fait, dans l'armée, en mode de masse, c'est-à-dire aux allures lentes, et en mode de vitesse, aux allures vives du trot et du galop, le moteur étant monté ou attelé.

Si, en mécanique générale, il y a un rapport simple d'équivalence entre l'effort dépensé et l'effet produit, ou, autrement, si une machine perd en vitessse ce qu'elle gagne en effort, et réciproquement, il n'en n'est pas de même chez le cheval, où, en doublant la vitesse, on quadruple le travail nécessaire pour le transport de la même masse.

L'auteur, partant de cette idée que les moteurs animés doivent être appropriés aux modes de travail pour lesquels on les destine, discute la question des aptitudes spéciales.

Celles-ci sont subordonnées, en premier lieu,

au volume des masses musculaires; mais ce volume ne doit pas dépasser une mesure raisonnable, car, si la puissance croît comme le carré des augmentations des diamètres des muscles, le poids de la masse à déplacer, c'est-à-dire du cheval lui-même, croît comme le cube de ces mêmes augmentations. C'est pourquoi l'augmentation du poids du corps favorise et commande les allures lentes.

En second lieu, pour les grandes allures, où les rayons osseux doivent avoir toute leur amplitude d'oscillation, des membres longs en intensité de contraction longitudinale plus grande seront préférables et commanderont la structure générale plus élancée de la machine animale.

En troisième lieu, les chevaux doivent être doués d'une excitabilité nerveuse en rapport avec les conditions que doit remplir le moteur.

Enfin, la puissance digestive, qui gouverne pour une forte part l'aptitude mécanique, étant inversement proportionnelle au poids du corps, il y a tout intérêt à exiger du cheval de guerre une conformation moyenne, plutôt légère que volumineuse et massive, et animée d'une force excito-motrice bien équilibrée, c'est-à-dire douée d'un degré de sang conforme à ses qualités physiques.

L'auteur, comparant le rendement des moteurs animés, se base sur les expériences effectuées aux omnibus de Paris pour donner la préférence aux chevaux hongres et aux juments sur les chevaux entiers, et estime que, à différence de race, les chevaux orientaux et leurs croisements sont plus aptes à fournir du travail utile que les chevaux de race occidentale.

Les éléments scientifiques précédents viennent prêter leur appui au calcul du travail, qui se formule dans une équation exacte entre l'alimentation du moteur et la quantité d'énergie qu'il dégage pour accomplir son service.

L'auteur emprunte au général Morin le résultat de ses expériences et constate que le tarif des rations de décembre 1887 appliqué aux chevaux de l'artillerie, a entraîné pour eux, surtout pour les chevaux d'une conformation au-dessus de la moyenne, une perte de poids en rapport avec l'insuffisance de l'alimentation et dont la conséquence est l'usure prématurée.

De même pour les chevaux de la cavalerie, devant la nécessité de maintenir la vitesse des allures, la durée des exercices et des manœuvres, doit-on chercher dans l'allégement de la charge, une compensation aux conditions restreintes imposées à l'entretien de la machine animale.

Ces deux derniers chapitres sont comme la conclusion de tout le travail.

L'auteur, envisageant l'étude de la ration du cheval de troupe, en calcule la valeur nutritive.

Il se base :

1° Sur le rapport inférieur à 1/5 qui doit exister entre les matières azotées ou protéiques et les matières non azotées;

2° Sur le second rapport de 1/100 de l'aliment essentiel d'entretien, c'est-à-dire du foin, au poids vif;

3° Sur la nécessité de maintenir par la présence d'un aliment de lest suffisant et d'un prix peu élevé, la paille, le système digestif dans un état de plénitude favorable à la digestion et à l'absorption des principes nutritifs;

4° Sur la propriété excitante particulière à l'avoine, que M. Sanson est parvenu à isoler et à mettre en évidence;

5° Sur l'importance de cette denrée au point de vue de sa richesse alimentaire.

Et de toutes ces considérations il arrive à déterminer une composition de ration qui puisse remplir ce but multiple de l'entretien de l'organisme, de la réparation des pertes causées par le travail, et de l'augmentation de l'aptitude mécanique de la machine animale, — le tout en mé-

nageant les nécessités budgétaires et au mieux des intérêts si grands de la défense nationale.

Voilà quel est l'objet de ce mémoire.

Nous tenons à rendre à l'auteur cette justice qu'il a su intéresser à l'étude de ces problèmes si difficiles et que son travail rappelle ces ouvrages spéciaux que l'on est heureux de rencontrer, parce qu'ils sont comme l'expression des connaissances scientifiques les plus complètes et qu'ils résument d'une façon parfaite le sujet qu'ils ont traité.

Le soin avec lequel ce mémoire, bien écrit, a été composé et la note utilitaire qui s'en dégage le signalent d'une façon particulière à l'attention de la Section technique du comité de cavalerie, qui propose son insertion dans le *Recueil des mémoires et observations d'hygiène et de médecine vétérinaires militaires*, et émet l'avis de décerner à l'auteur la plus haute récompense, la médaille d'or d'une valeur de 500 francs.

ÉTUDES ET RECHERCHES

SUR

L'ALIMENTATION ET LE TRAVAIL

DU CHEVAL DE TROUPE

> C'est surtout l'expérimentation physiologique qui nous révèle les propriétés nutritives des aliments.

AVANT-PROPOS

Cette question est sans contredit la plus importante du domaine de l'hygiène vétérinaire militaire. Elle intéresse également l'économiste, qui se préoccupe avant tout d'obtenir au plus bas prix de revient le meilleur rendement de nos moteurs animés.

Reste à savoir si nos ressources budgétaires s'accommodent mieux des raisons de celui-ci ou des préceptes de celle-là.

Quant à nous, nous pensons qu'en ne visant pas assez l'entretien de la machine animale et le perfectionnement de l'aptitude mécanique de nos aides, on risque fort de dépenser en achats de chevaux une somme d'argent beaucoup plus considérable que celle nécessaire à la réparation de l'*énergie* consommée sous forme de travail.

Certes, nous ne sommes pas seul à parler ainsi : la preuve en est dans les réclamations incessantes de ceux dont le devoir est de veiller à la conservation du cheval de guerre.

Grâce à ces réclamations, d'incontestables progrès ont été accomplis, au moins en ce qui concerne la *composition de la ration de travail de nos moteurs animés.* Mais s'ensuit-il que l'on soit arrivé au dernier degré de la perfection et qu'il n'y ait rien à ajouter à ce qui a été fait? (1)

La science, qui marche d'un tel pas sous l'impulsion de la féconde méthode expérimentale, montre, au contraire, que ce qui paraissait acquis hier est modifié aujourd'hui par de nouvelles découvertes, ou, que chaque jour, les notions se développent et se précisent davantage en devenant plus claires. Il faut sans cesse remettre l'œuvre sur le

(1) Nos lecteurs sont déjà au courant des raisons qui ont déterminé la mise en vigueur d'un nouveau tarif de rations pour les chevaux de l'armée. Ils savent aussi que ce tarif, essentiellement provisoire, n'a été adopté qu'à titre d'expérience et qu'il se distingue de l'ancien par une augmentation d'avoine prise aux dépens de la ration fourragère.

Est-ce là un progrès?

Certes, l'augmentation de la denrée qui alimente la source du travail qui permet seule les efforts de vitesse, et qui se prête le mieux à la constitution de grands approvisionnements comme au transport facile en temps de guerre, ne peut être que favorablement accueillie.

Mais est-il sage de diminuer pour cela la ration fourragère qu'on sait être indispensable au fonctionnement normal de l'appareil digestif et au bon entretien de nos chevaux? Evidemment non!

Ce qu'il faut, c'est une ration d'avoine en rapport avec le travail exigé; c'est une ration de fourrage proportionnelle à la taille ou au poids du moteur. C'est en somme un relèvement de la ration totale.

Quel doit être ce relèvement? C'est ce que nous allons dire dans ce travail.

En admettant que les quantités que nous avons établies d'après les bases scientifiques qu'on va lire soient taxées d'exagération, il n'en est pas moins vrai que l'application du nouveau tarif est préjudiciable aux chevaux de toutes armes — à ceux de cuirassiers et d'artillerie surtout — et que l'insuffisance de la ration actuelle est surabondamment prouvée aujourd'hui.

métier, si l'on veut qu'elle contribue à de nouveaux progrès.

Persuadé que toute science est nécessairement progressive et que l'hygiène, moins qu'aucune autre, ne saurait prétendre à la fixité même relative, j'ai cru être utile à mes confrères en appelant de nouveau leur attention sur les *agents* qui jouent le plus grand rôle sur l'entretien et la conservation du cheval de troupe.

Malgré la difficulté de ma tâche, je n'ai pas hésité à provoquer de leur part de nouvelles et fécondes études sur ce sujet. Et si ma hardiesse a de beaucoup dépassé mes moyens, mon désir de bien faire trouvera, je l'espère, une excuse auprès de ceux qui me liront.

Je n'ai d'autre mérite que celui d'avoir étudié avec ardeur une question pleine d'intérêt; d'autre but que celui de faire profiter mes collègues de mes recherches et de mes études; d'autre ambition que celle d'obtenir la bienveillance de mes juges.

Mon œuvre n'est ni complète ni parfaite; je sollicite pour elle l'indulgence de mes appréciateurs et je les prie de ne voir dans ce travail qu'une ébauche dictée par mon désir de marcher dans la voie du progrès. Si ce désir peut faire excuser les imperfections de cet ouvrage, je serai heureux de l'avoir entrepris.

PREMIÈRE PARTIE

Digestion. — Alimentation. — Nutrition. Calorification et travail musculaire.

CHAPITRE Ier

DE LA DIGESTION DES SUBSTANCES ALIMENTAIRES

CONSIDÉRATIONS GÉNÉRALES SUR LA DIGESTION

§ Ier. — **Définition. — Objet.**

La digestion est une fonction qui a pour objet de préparer, au moyen des aliments, les matériaux nécessaires à l'entretien de l'économie.

Parmi les matières étrangères à l'organisme qu'elle fait passer dans le torrent circulatoire et qu'elle transforme en substance vivante, les unes, cristallisables et solubles, traversent à leur état naturel les parois des vaisseaux du tube intestinal; les autres, fournies par les aliments sous une forme qui ne leur permet pas de traverser les membranes organiques, doivent subir des modifications qui les rendent diffusibles. L'objet essentiel de la digestion est de leur imposer ces modifications.

Les métamorphoses que la fonction digestive imprime aux substances alimentaires résultent de l'accomplissement de phénomènes *préparatoires* et de phénomènes *essentiels.*

Les premiers ont pour but de saisir, de diviser les aliments, de les faire cheminer dans toute l'étendue du tube intestinal, de présenter leurs diverses parties à l'action des sucs digestifs et aux différents points de la surface absorbante de l'intestin, d'expulser enfin les résidus non digérés: ce sont des phénomènes de mouvement; ils constituent la partie mécanique de la digestion. Les seconds s'effectuent par l'intervention des liquides ou sucs sécrétés par l'appareil digestif, à mesure que les matières alimentaires cheminent dans le tube intestinal sous l'impulsion que leur impriment les contractions des fibres musculaires lisses de ce conduit : ils forment la partie chimique de la digestion.

Les phénomènes mécaniques accomplis sous l'influence de la volonté embrassent la *préhension* des aliments, la *mastication*, l'*insalivation* et la *déglutition*. Les phénomènes chimiques comprennent la *digestion gastrique* ou *stomacale*, la *digestion intestinale* et la *dialyse* ou *absorption intestinale*. Le tout se termine par l'expulsion des résidus de la digestion ou *défécation*.

C'est par le rapide examen de ces divers actes digestifs que nous croyons devoir entrer en matière.

§ II. — Phénomènes mécaniques de la digestion.

Préhension des aliments. — Chez les équidés, la préhension des fourrages, des grains et des aliments plus ou moins pulvérulents se fait par l'intermédiaire des lèvres, des dents incisives et de la langue. La lèvre supérieure, longue, très mobile et extrêmement sensible, fait l'office d'une véritable main qui attire et rassemble les matières alimentaires; les incisives coupent les plantes sur pied et détachent de la botte les brins attirés par les lèvres; la langue, enfin, pousse les aliments sous les dents molaires.

Les expériences de M. Colin ont prouvé que ces trois par-

ties agissent successivement et que le concours de chacune d'elles est indispensable à l'ingestion des substances alimentaires.

Mastication. — Les aliments introduits dans la cavité buccale y sont divisés, écrasés, réduits en pâte pour être attaqués plus facilement par les liquides du tube digestif. Ce phénomène, connu sous le nom de *mastication*, est dû à l'action des mâchoires munies de leurs dents et mises en mouvement par des muscles spéciaux. Les joues, les lèvres et la langue concourent également à ce but.

Les dents, organes passifs et essentiels de la mastication, ont une forme appropriée à leurs usages. Les incisives n'ont pas, à proprement parler, de surface de mastication ; ce sont des lames qui, en se rencontrant à la manière des ciseaux, saisissent et coupent les aliments plutôt qu'elles ne les broient. Les molaires, au contraire, avec leurs large surface de frottement sur laquelle des rubans d'émail dessinent, à tous les âges de la vie, des reliefs plus ou moins irréguliers, sont, comme le disait Cuvier, « des meules qui se repiquent d'elles-mêmes et dont le jeu produit un véritable effet de mouture ».

Les mâchoires, sortes de pinces dont les branches sont disposées de manière à s'écarter verticalement et proportionnellement au volume de l'aliment à saisir, sont mises en mouvement, chez les solipèdes, par le crotaphite, le masséter, les deux ptérygoïdiens, le digastrique et le stylo-maxillaire. Ces organes moteurs produisent, comme on le sait, l'écartement, le rapprochement, la prépulsion, la rétropulsion et la diduction.

La langue, par sa motilité est, en quelque sorte, le régulateur de la mastication. C'est elle qui, par ses mouvements les plus variés, attire les aliments dans la cavité buccale, les pousse sous les dents, les y ramène quand ils s'échappent et enfin les rassemble pour les diriger vers le pharynx lors de la déglutition.

Les lèvres servent aussi à la mastication des matières alimentaires en les faisant parvenir dans la bouche et en les retenant dans cette cavité.

Les joues concourent également à l'exécution de cette opération en empêchant les aliments de fuir au dehors des arcades molaires et en les ramenant sous ces dernières à mesure qu'ils échappent à leur action.

Insalivation. — Pendant la mastication, les matières alimentaires s'imprègnent d'un liquide appelé *salive*, destiné à les ramollir, à faciliter leur déglutition, à rendre leur gustation aussi parfaite que possible et à leur faire subir des modifications préliminaires à celles qu'elles doivent éprouver dans les parties profondes du tube digestif.

Ces modifications préliminaires seront examinées plus loin; nous envisageons seulement ici le rôle mécanique de la salive.

L'appareil salivaire des équidés comprend diverses glandes que Duvernoy a rapportées à deux groupes distincts. L'un, appelé système salivaire postérieur, fournit un liquide clair et limpide, dont le rôle mécanique consiste surtout, en raison de sa fluidité, à délayer, à ramollir les substances alimentaires, pour en rendre la trituration aussi complète et aussi parfaite que possible. L'autre, dit système salivaire antérieur, sécrète une salive épaisse, visqueuse et filante qui englue et entoure le bol alimentaire d'une sorte d'enduit gras qui en facilite la déglutition.

La production du liquide salivaire est constante; elle est, toutefois, plus abondante pendant la mastication. Colin a évalué à plus de 30 kilos ce qu'un cheval peut sécréter de salive par jour.

A mesure que la mastication et que l'insalivation s'opèrent, les aliments forment un magma pâteux appelé *bol alimentaire*, d'autant mieux préparé pour la digestion que la mastication des matières a été plus parfaite et que leur insali-

vation est plus complète. Cela donne à l'intégrité et à la solidité de l'appareil dentaire, ainsi qu'au fonctionnement normal des glandes salivaires, un rôle très important dans la fonction digestive.

Déglutition. — Le bol alimentaire, une fois formé et recouvert de salive gluante, est amené, surtout par les mouvements de la langue, sur la face dorsale de cet organe, dont la base forme un plan incliné en arrière pour faciliter le glissement des aliments vers le fond de la bouche. Un mouvement d'abaissement et de retrait de la portion fixe de la langue, déterminé par la contraction des muscles hyoïdiens, leur fait franchir l'isthme du gosier, lubrifié par le fluide des amygdales.

Ils tombent ainsi dans le pharynx, dont les parois musculaires, en se contractant sur eux, les poussent dans l'œsophage. Les contractions péristatiques de celui-ci les saisissent à leur tour et les conduisent jusque dans l'estomac.

La déglutition du bol alimentaire et son transport dans le renflement gastrique sont d'autant plus faciles et plus rapides qu'il a été mieux mâché et mieux insalivé.

Phénomènes mécaniques de la digestion stomacale. — Les diverses parties du tube digestif traversées jusqu'ici par les aliments n'étaient, en quelque sorte, que des lieux de passage. Les substances dégluties font, au contraire, un plus ou moins long séjour dans l'estomac, pour y subir l'action des sucs digestifs. Cet organe, revenu sur lui-même pendant l'état de vacuité, se dilate alors pour les recevoir et pour permettre leur accumulation dans leur intérieur. Il agit, de plus, par ses *mouvements,* pour faciliter le travail de la digestion, en présentant les diverses parties de la masse alimentaire au contact du suc gastrique.

Les contractions de l'estomac, provoquées par la présence des aliments, par leur température et leurs propriétés plus ou moins stimulantes, jouent un rôle très important. Elles

retiennent les matières alimentaires dans le ventricule stomacal ; elles stimulent la muqueuse et activent la sécrétion du suc gastrique par l'excitation mécanique qu'elles font éprouver à cette membrane et aux glandes qu'elle renferme ; elles favorisent la désagrégation, l'atténuation des aliments ; elles brassent, mélangent les différentes parties de la masse et leur impriment une agitation qui leur permet de s'imprégner plus complètement du fluide dissolvant ; enfin, elles poussent les matières dans l'intestin à mesure que leur chimification s'effectue.

Phénomènes mécaniques de la digestion intestinale. — Lorsque les phénomènes de la digestion stomacale sont terminés, l'orifice pylorique de l'estomac se dilate pour laisser passer la masse alimentaire. Celle-ci s'introduit par portions fractionnées dans le duodénum, où elle se mélange avec la bile et le suc pancréatique ; elle passe ensuite dans le jéjunum, puis dans l'iléon et tombe enfin dans le gros intestin, où nous allons bientôt la retrouver.

Le mouvement de progression de la bouillie alimentaire est déterminé, dans l'intestin grêle, par les contractions des deux sortes de fibres musculaires lisses de cette portion du conduit intestinal. La partie d'intestin dans laquelle vont s'engager les aliments vient, en quelque sorte, au-devant de ceux-ci par la contraction de ses fibres longitudinales, tandis que la section intestinale que cette espèce de bol vient de franchir pousse celui-ci en arrière par la contraction de ses fibres circulaires. Il en est de même pour toutes les fractions de la masse alimentaire.

Les aliments qui n'ont pas été absorbés dans l'intestin grêle et les boissons qui cheminent rapidement dans cet organe passent dans le cœcum, dont la disposition, si remarquable chez les solipèdes, permet de tenir en dépôt les matières délayées et de les empêcher de refluer dans le petit intestin. Les substances que reçoit le réservoir cœcal tom-

bent vers sa partie déclive, s'accumulent, se mélangent dans son intérieur et y éprouvent des élaborations et des transformations analogues à celles qui s'opèrent dans l'intestin grêle. Enfin, lorsque le cœcum est trop plein ou que les parois de ce sac se contractent de la partie déclive vers la plus élevée, la bouillie nutritive remonte contre son propre poids pour passer avec lenteur et en petite quantité dans le côlon replié.

Arrivées dans l'intérieur de ce large canal, où elles se tassent plus ou moins, les matières alimentaires, encore délayées jusqu'au niveau de la courbure pelvienne, prennent de la consistance à mesure qu'elles se rapprochent du côlon flottant. Leur marche est favorisée par les plis appelés improprement *valvules conniventes,* valvules qui divisent la masse, l'ébranlent portion par portion, par un mécanisme que M. Colin a comparé à celui des palettes d'une roue hydraulique.

Parvenues enfin dans le petit côlon, les substances alimentaires ont cédé aux absorbants une grande partie des liquides qui les imprégnaient. A mesure qu'elles cheminent dans cette dernière section du canal digestif, elles deviennent de plus en plus solides et résistantes. Les valvules conniventes divisent la masse en petites pelotes, qui se tassent progressivement et se recouvrent d'une légère couche de mucus. En passant d'une cellule dans la cellule suivante, chaque pelote conserve sa forme et son volume, sans jamais se réunir avec celles qui l'avoisinent. Elles s'accumulent dans le rectum en quantité plus ou moins considérable, jusqu'au moment de leur élimination.

§ III. — Phénomènes chimiques de la digestion.

Rôle des sucs digestifs. — Les actions chimiques qui s'accomplissent dans le tube digestif ont pour résultat la *disso-*

lution des substances alimentaires et pour but final l'*absorption* de ces substances. Lorsque les aliments sont *insolubles*, les sucs intestinaux leur font subir des métamorphoses qui les rendent diffusibles et leur permettent de pénétrer dans le cercle fermé de la circulation. Lorsque les matières alimentaires sont *solubles*, les liquides digestifs n'interviennent souvent que pour les dissoudre ; quand ils agissent chimiquement sur elles, c'est toujours à l'état de produits diffusibles qu'ils les livrent à l'absorption.

Les divers départements du canal digestif agissent d'une manière différente sur les aliments et leur impriment des modifications spéciales. Il ne faut pas croire pour cela que l'action de chaque partie de l'intestin soit locale et isolée. Les métamorphoses déterminées par les divers fluides digestifs commencent au point où ces fluides sont sécrétés, là où ils se trouvent d'abord en contact avec les aliments ; mais, la plupart du temps, les sucs intestinaux qui imbibent les subtances alimentaires et les accompagnent dans leur trajet continuent et achèvent leur action dans d'autres parties de l'intestin.

Les liquides digestifs qui métamorphosent et dissolvent les aliments sont : la *salive*, le *suc gastrique*, la *bile*, le *fluide pancréatique*, et le *suc intestinal*.

Action de la salive. — En nous occupant du rôle mécanique de la salive, nous avons dit que ce liquide, élaboré et sécrété par des organes glandulaires spéciaux, possède des propriétés variables selon la situation des glandes qui le fournissent, et nous avons vu, en même temps, comment il facilite la mastication et la déglutition des substances alimentaires. Examinons maintenant les modifications chimiques que ce fluide fait éprouver à ces mêmes substances.

La réunion des diverses sortes de salives qui s'écoulent dans la bouche forme la *salive mixte*, dont la composition

seule nous intéresse, parce que de cette composition dérive sa fonction.

La *salive mixte* ou *complète* est un liquide transparent ou légèrement opalin, visqueux, inodore et de réaction alcaline qui contient environ 93 p. 100 d'eau, 2 p. 100 de mucus, 5 p. 100 de sels alcalins et une quantité variable de débris d'épithélium pavimenteux. Traitée par l'alcool, après filtration, elle précipite une matière organique azotée, soluble dans l'eau et appelée *ptyaline* ou *diastase salivaire*. Cette substance, véritable ferment soluble, analogue, sinon identique, à la diastase qui se développe dans les graines en germination, jouit, comme elle, de la propriété de transformer l'amidon en glucose.

Ce ferment diastasique caractérise la salive; il en est le principe actif. C'est lui, en effet, qui, par son contact avec une matière amylacée quelconque, — amidon, fécule ou cellulose jeune, — la transforme promptement en dextrine et la rend diffusible. Une action plus prolongée de ce ferment salivaire avec les aliments féculents fait passer la dextrine à l'état du sucre, absolument comme le ferait la diastase qui se forme dans l'orge germée. La digestion des substances amylacées et de la cellulose jeune est donc d'autant plus complète que le fonctionnement des glandes salivaires est plus actif et que l'insalivation du bol alimentaire est plus parfaite.

Le rôle de la salive dans les phénomènes chimiques de la digestion n'est pas seulement borné à l'action spéciale qu'elle exerce, par son ferment, sur les matières féculentes; elle dissout encore les substances sucrées et mucilagineuses et la plupart des sels nutritifs.

Action du suc gastrique. — Il existe dans l'épaisseur de la membrane interne de l'estomac une multitude de glandes utriculaires affectées à la sécrétion du fluide dissolvant. Ces glandes sont de deux sortes, quant à leur forme et à leur

fonction. Les unes, simples ou composées, exclusivement disséminées dans la partie veloutée de la muqueuse stomacale des équidés, sont tapissées intérieurement de cellules à pepsine, polygonales et finement granulées. Ce sont ces éléments vésiculeux qui élaborent la partie active du suc gastrique.

Les autres organes glanduleux de l'estomac, également simples ou composés, sont dépourvus de cellules pepsiques et seulement tapissés d'un épithélium cylindrique. Ces glandes, surtout répandues en grand nombre près du pylore, plus exposé que le reste du viscère à être irrité par les aliments, sécrètent un mucus épais et abondant, qui enduit toute l'étendue de la muqueuse veloutée et la soustrait au contact immédiat des matières étrangères.

Le suc gastrique est un liquide incolore, limpide, d'une odeur faible, d'une saveur aigre et légèrement salée.

Sa densité est peu différente de celle de l'eau, sa réaction est constamment acide. Il contient 99 p. 100 d'eau, de petites proportions de sels, un ou deux acides libres et une substance organique dont il va être fait mention quelques lignes plus bas.

Les sels du fluide gastrique sont principalement constitués par des chlorures alcalins et terreux; on y rencontre aussi du phosphate de chaux, du carbonate de chaux et des sels de fer.

La présence de l'acide ou des acides qui paraissent exister en très faible proportion dans le suc gastrique n'est pas encore sûrement démontrée. D'après les uns, c'est de l'acide chlorhydrique; d'après les autres, c'est de l'acide lactique. Lehmann et Schmidt admettent que l'acidité de ce fluide est due à la présence de ces deux acides, qui s'y trouveraient l'un et l'autre en proportions peu différentes.

Indépendamment de l'eau, des sels et des acides, le suc gastrique renferme encore une substance organique azotée

nommée *pepsine*, *chimosine*, ou *gastérase*, et à laquelle un rôle capital est dévolu dans les phénomènes chimiques de la digestion stomacale. Cette substance, qui a une grande analogie avec les matières albuminoïdes, jouit à elle seule de toutes les propriétés dissolvantes et digestives du suc gastrique. C'est elle, notamment, qui transforme les principes azotés des aliments en une matière propre à être absorbée.

Le suc gastrique, outre son action particulière due à la pepsine, agit encore par son eau et ses sels en produisant l'hydratation de la masse alimentaire, la désagrégation de ses parties constituantes et la dissolution aqueuse de quelques-uns de ses principes.

Digestion stomacale. — Arrivés dans l'estomac avec la salive qu'ils ont entraînée, les aliments se gonflent, s'hydratent, se ramollissent, se délayent et s'imprègnent de suc gastrique. Ils séjournent dans cet organe pendant un temps qui varie selon leur nature et suivant la résistance qu'ils opposent à l'action de la diastase salivaire et de la pepsine. Mais, quelle que soit la durée de la digestion stomacale, elle ne transforme jamais la totalité des aliments sur lesquels elle agit. Il s'échappe toujours par le pylore une certaine quantité de substances pulvérulentes, pulpeuses, non dissoutes, dont les unes continuent à se modifier dans l'intestin, tandis que les autres sont converties en matières fécales après avoir résisté à la dissolution et à l'absorption.

C'est surtout sur les matières albuminoïdes : sur la fibrine, l'albumine fluide ou coagulée, la caséine, la légumine, le gluten, etc., que la sécrétion stomacale exerce son action. Sous l'influence du suc gastrique, ces différents principes azotés s'hydratent, se ramollissent, se désagrègent, éprouvent ensuite des modifications dans leur constitution moléculaire et dans leurs propriétés chimiques et finalement se transforment en une substance neutre, diffusible,

apte à pénétrer dans le chyle et dans le sang et à laquelle on a donné le nom de *peptone* ou d'*albuminose*.

Les substances féculentes, les matières amylacées et la cellulose jeune, déjà fortement imprégnées de salive, continuent à se saccharifier dans l'estomac, où elles trouvent d'autres produits de sécrétion capables de seconder l'action du fluide salivaire et même de le suppléer jusqu'à un certain point. Toutefois, chez les animaux monogastriques, la conversion glycosique de ces principes n'est jamais complète par suite du court séjour que font les aliments dans l'intérieur du renflement stomacal.

Les sels minéraux nutritifs, les matières sucrées, les gommes, le mucilage, la pectine peuvent être modifiés ou dissous dans ce viscère, soit par les acides lactique, butyrique qui se forment dans la masse alimentaire, soit par la ptyaline qu'elle entraine avec elle.

Les opérations essentielles de la digestion stomacale ont donc pour effet de saccharifier les matières amylacées, de dissoudre les substances salines, sucrées, mucilagineuses, etc., et de rendre diffusibles les principes protéiques.

L'agent qui saccharifie les premières et dissout les secondes est le fluide salivaire; celui qui transforme les dernières est le suc gastrique. En examinant les aliments contenus dans l'estomac d'un animal en cours de digestion on y constate les deux actions de la salive et du liquide gastrique plus ou moins avancées, suivant le temps qui s'est écoulé depuis le repas. On y rencontre aussi d'autres substances résultant des altérations spontanément produites dans la masse et enfin d'autres encore qui ont conservé l'état dans lequel elles ont été ingérées. De ce nombre sont les matières grasses sur lesquelles ni la diastase salivaire ni la pepsine n'ont aucune action.

Toutes ces matières, ainsi modifiées ou non par la digestion stomacale, forment une sorte de pâte ou de bouillie plus

ou moins épaisse, suivant l'état d'avancement du phénomène et la quantité de liquide mêlée à la masse, soit par la nature même des aliments, soit par les boissons ingérées en même temps que ceux-ci. Cette pâte, appelée *chyme*, est donc une substance fort complexe dans laquelle entrent toutes les matières introduites dans l'estomac, plus celles que la muqueuse de cet organe fournit elle-même par la sécrétion de ses glandes et qui sont les éléments organiques et minéraux du suc gastrique.

Le chyme, qui est ainsi plus riche que les aliments, notamment en acide phosphorique, franchit l'estomac à mesure qu'il se produit, à mesure que les actions dont il vient d'être question sont suffisamment avancées pour que le séjour dans le viscère ne soit plus nécessaire.

Action de la bile. — La sécrétion du foie est continue, mais elle est peu abondante par rapport au volume de cet organe. Chez le cheval, la glande hépatique fournit environ 6,000 grammes de bile en vingt-quatre heures ; au fur et à mesure de sa formation, ce liquide est versé dans l'intestin grêle par un conduit qui s'abouche, près du pylore, avec le canal principal du pancréas.

La bile est un liquide alcalin, brun verdâtre, d'une saveur à la fois douce et amère. Elle contient 80 à 90 p. 100 d'eau, des substances organiques et des sels minéraux, dont les principaux sont des chlorures, des phosphates et des carbonates alcalins et terreux. Le fluide biliaire est caractérisé par deux sels organiques à base de soude dont les acides sont l'acide *cholique* et l'acide *choléique* ; par une matière grasse neutre cristallisable, la *cholestérine*; et par une matière colorante azotée, la *biliverdine*, qui a la propriété de devenir bleue sous l'influence de l'acide azotique.

La bile est un liquide excrémentitiel dont la matière colorante surtout se retrouve complètement, à l'état solide, dans les résidus de la digestion. Toutefois, bien qu'il soit avant

tout dépuratoire, le liquide biliaire contribue, par sa propriété alcaline, à la digestion. Il rend les graisses diffusibles partiellement en les saponifiant ; il contribue à neutraliser l'acidité du chyme, tant par ses alcalis libres que par les sels dont la composition met la soude en liberté ; enfin, par l'eau qu'il contient, il dissout la plupart des matières alimentaires et exerce une certaine influence sur les élaborations intestinales.

Action du fluide pancréatique. — Ce fluide, sécrété par une glande abdominale, dont la structure anatomique rappelle celle des glandes salivaires, est, chez les équidés, versé d'une façon irrégulière dans le duodénum au même point que la bile.

Il est incolore, sans odeur, d'une saveur un peu salée, très peu visqueux et incoagulable chez les solipèdes, alcalin et très putrescible chez tous les animaux. Sa partie essentielle est une substance analogue aux matières albuminoïdes, désignée sous le nom de *pancréatine* ou de *diastase pancréatique*.

Indépendamment de cette matière organique, qu'on a confondue à tort avec l'albumine, le suc pancréatique renferme une grande quantité d'eau, du mucus, des traces de matières grasses, des chlorures et des phosphates de soude et de potasse, des carbonates et des sulfates alcalins, des carbonates et des sulfates terreux, de la leucine et de la tyrosine.

En somme, le fluide pancréatique est un produit spécial et non une espèce de salive, comme on l'avait conjecturé. Des recherches récentes tendraient même à le faire considérer comme le véhicule de trois ferments qu'on croit susceptibles d'être isolés.

Il a évidemment pour office de délayer le chyme par son eau et d'en neutraliser l'acidité par ses sels alcalins. Mais son rôle essentiel paraît être de saccharifier la fécule,

d'émulsionner les matières grasses et de contribuer, à un certain degré, à la dissolution des substances albuminoïdes. Il semble donc avoir pour fonction de parachever la digestion gastrique en attaquant au passage les matières qui auraient pu échapper à celle-ci.

Action du suc intestinal. — Dans toute l'étendue de l'intestin, depuis le pylore jusqu'à l'anus, la membrane muqueuse sécrète un liquide particulier qui modifie aussi les substances alimentaires, et qu'on appelle *suc intestinal.*

Ce liquide, dont l'action est à peu près bornée à l'intestin grêle, est évidemment un produit complexe, car il y a dans l'épaisseur de la muqueuse intestinale des glandes de Brunner, de Payer, de Lieberkünh et enfin des follicules solitaires qui très probablement ne sécrètent pas un liquide identique.

Extrait de l'intestin grêle, après qu'on a débarrassé de son contenu une anse intestinale et isolé cette partie du reste de l'intestin à l'aide de deux compresseurs (procédé Colin), le suc intestinal se présente sous l'aspect d'un liquide alcalin, transparent, légèrement jaunâtre et d'une saveur un peu salée. Il contient du mucus, de l'eau, des matières grasses, de l'albumine, du chlorure de sodium, du phosphate de soude, du carbonate de soude et une substance organique non définie.

Pris en masse, le fluide intestinal jouit de propriétés distinctes : 1° il délaye, hydrate le chyme et facilite ainsi les actions osmotiques ; 2° il en sature l'acidité en vertu de sa réaction alcaline ; 3° il transforme la fécule en sucre ; 4° il émulsionne les graisses, mais à un moindre degré que la bile et le suc pancréatique ; 5° enfin, il paraît dissocier et dissoudre les matières albuminoïdes, qui ont échappé à l'action du suc gastrique.

En réalité, le suc intestinal est l'adjuvant des autres liquides digestifs. Il possède, comme la bile et le suc pancréati-

que, la propriété de rendre diffusibles les matières amylacées ; il supplée, dans une certaine mesure, l'action du fluide gastrique pour la digestion des substances albuminoïdes ; enfin, il continue le rôle de la bile et du suc pancréatique pour l'émulsion des principes gras.

Digestion intestinale. — En examinant, comme nous venons de le faire, l'action isolée de la bile, du suc pancréatique et du fluide intestinal, nous nous sommes placé à un point de vue purement expérimental.

En fait, ces trois liquides agissent simultanément sur les aliments déjà infiltrés de salive et de suc gastrique.

Leur mélange constitue un fluide mixte alcalin, possédant à lui seul la faculté de digérer les aliments de toute sorte.

Dans les phénomènes normaux de la digestion, quand la masse alimentaire a traversé l'estomac et le petit intestin, l'action des sucs digestifs a été à peu près épuisée sur elle ; par conséquent, le rôle du gros intestin, dans l'accomplissement des réactions chimiques dont nous venons de parler, peut être considéré comme nul ou à peu près. Toutefois, chez les équidés, où cette portion du tube intestinal est très développée, l'action de la diastase se continue sur les matières féculentes, dont leur alimentation est extrêmement riche. On a même constaté que les matières albuminoïdes y sont digérées dans une certaine proportion ; c'est ce qui explique l'action des lavements nutritifs.

Osmose intestinale. — A mesure que le chyme circule le long de l'intestin, toutes les substances solubles, naturellement diffusibles ou rendues telles par l'action digestive, — les sucres, la dextrine, la peptone, les matières grasses émulsionnées, — sont absorbées ou dyalisées par les villosités de ce conduit, et passent dans le sang des veines intestinales, ou dans la lymphe des chylifères qui rampent dans l'épaisseur du mésentère, pour se rendre dans la circulation générale.

On donne le nom de chyle au liquide qui pénètre dans les vaisseaux chylifères, et non pas à la bouillie alimentaire contenant des matières qui ne seront pas absorbées du tout, et d'autres qui le seront par les veines.

C'est dans l'intestin grêle que la bouillie alimentaire cède à la dialyse la majeure partie des matières rendues diffusibles par la digestion. Celles de ces dernières qui ont échappé à l'action osmotique de cette portion du tube intestinal sont absorbées dans le gros intestin, et surtout dans le cœcum, lavées qu'elles y sont par la grande quantité d'eau qui les délaye. On admet que les substances non digérées, la cellulose notamment, subissent, en séjournant dans le cœcum, une fermentation analogue à celle qui, dans les marais, dégage de l'hydrogène carboné. Ainsi s'explique la production des gaz intestinaux, et la distension parfois considéra-ble qu'ils exercent sur les parois du sac cœcal.

En passant de là dans le côlon, les matières alimentaires ne se composent guère plus que des résidus de la digestion, dans lesquels la fluidité diminue de plus en plus.

Dans la portion flottante du gros intestin, ce ne sont plus que des excréments prenant la forme et l'aspect sous lesquels ils seront expulsés.

CHAPITRE II

DES ALIMENTS

Définition. — On désigne sous le nom d'aliments les substances qui, introduites dans les voies digestives, y subissent des modifications les rendant aptes à la nutrition des organes, à la production de la chaleur animale et à la réparation des pertes incessantes qu'éprouve la machine vivante sous l'influence du fonctionnement et du travail de ses éléments.

Les naturalistes divisent les matières susceptibles d'entrer

dans la constitution des tissus et des humeurs du corps en aliments solides, liquides et gazeux, et qualifient l'air lui-même de *pabulum vitæ*.

Les physiologistes et hygiénistes, réservant le nom d'aliment pour désigner les substances qui servent à la nutrition après avoir passé par le tube digestif, distinguent seulement des matières alimentaires solides et liquides.

Mais dans la pratique, où cette distinction est parfois difficile à établir, les substances *solides* destinées à entretenir le matériel de l'organisme sont seules considérées comme des aliments et désignées comme tels. Au contraire, on appelle boissons les liquides plus ou moins riches en propriétés nutritives, dont le rôle essentiel consiste à apaiser la soif, à fournir l'eau indispensable à la reconstitution des parties fluides du sang et à suffire aux exigences des diverses sécrétions.

Origine. — Les aliments solides sont empruntés au règne organique et au règne inorganique. Toutefois, les matières minérales ne sont pas habituellement ingérées seules dans les voies digestives ; elles pénètrent dans l'économie avec les substances organiques et avec les boissons.

Le cheval se nourrit exclusivement de végétaux qui puisent dans le sol et dans l'air les éléments nécessaires à leur développement, et qui transforment la matière inorganique de façon à créer des principes éminemment propres à l'entretien de la vie des herbivores. Quels que soient les artifices employés pour modifier le régime de ces animaux, il est prouvé aujourd'hui, que si l'on peut les entretenir temporairement avec des aliments de nature animale, une telle alimentation ne saurait satisfaire complètement leur nutrition, et que, dans ce cas, ils perdent une partie de leurs attributs.

Composition élémentaire et constitution immédiate des aliments. — Les aliments d'origine végétale, dont nous avons seulement à nous occuper ici, contiennent presque tous en

proportions diverses les mêmes éléments fondamentaux. Ces éléments sont : l'oxygène, l'hydrogène, le carbone, l'azote, le phosphore, la chaux, la potasse. la soude, la magnésie, le chlore, le fer et le manganèse ; quelques-uns renferment en outre du soufre, de l'iode et du brôme.

Mais, si les végétaux présentent entre eux une analogie presque parfaite au point de vue de leur composition élémentaire, ils se distinguent nettement les uns des autres par leur constitution immédiate, c'est-à-dire par le mode d'association des différents corps simples qui les constituent.

Ceux-ci, en se combinant par deux, par trois ou par quatre, forment ce qu'on appelle les *principes immédiats*, dans lesquels les herbivores trouvent tous les matériaux nécessaires au renouvellement des fluides et à la réparation des solides de leur organisme. C'est donc surtout cette constitution immédiate qu'il convient d'étudier, pour se rendre compte des propriétés nutritives des divers aliments (1).

Parmi les principes immédiats élaborés par les végétaux et livrés par eux aux animaux herbivores, les uns sont essentiellement constitués par quatre éléments : le carbone, l'hydrogène, l'oxygène et l'azote. On les désigne sous les noms de principes *azotés*, *protéiques*, *quaternaires* ou *albuminoïdes*. Mulder admet qu'ils ont pour base une matière particulière, la *protéine*, qui contient environ 16 p. 100 d'azote. Ces principes sont : l'albumine végétale, la fibrine végétale, le gluten et la caséine végétale, encore appelée légumine.

Les autres, composés de carbone, d'oxygène et d'hydrogène, sont nommés principes immédiats *ternaires*, *non azo-*

(1) Nous verrons qu'on ne peut plus admettre la classification des aliments en plastiques et respiratoires. Les seconds, comme les premiers, concourent à la formation des tissus ; les premiers comme les seconds servent à l'entretien de la chaleur animale, leurs mutations étant toujours accompagnées de phénomènes thermiques.

tés ou *hydrates de carbone*. Ils comprennent l'amidon, la fécule, la dextrine, les sucres, les principes pectiques, que les Allemands appellent *éléments extractifs non azotés*. Il y a, en outre, les matièles solubles dans l'éther et la cellulose, particulièrement à l'état de fibres brutes ou de ligneux.

A ces principes immédiats, il faut ajouter les matières salines, constituées par les acides combinés à des bases minérales, et formant ce qu'on nomme les *sels nutritifs*. Citons, parmi les plus importants et les plus communs, les phosphates de potasse, de chaux, de magnésie; les carbonates de chaux et de potasse; les sulfates de même base; les oxydes de fer et les chlorures alcalins.

Dans ces trois ordres d'éléments : principes immédiats azotés, hydrates de carbone et matières minérales, l'économie animale trouve tous les matériaux nécessaires pour la constitution des tissus qui la composent et pour le fonctionnement de ses organes. L'absence suffisamment prolongée d'un seul dans l'alimentation est incompatible avec la continuation de la vie, bien que quelques-uns de même ordre puissent se suppléer pendant un certain temps. Mais il n'y a point d'aliment complet sans la présence d'une matière azotée ou albuminoïde, d'un principe immédiat ternaire et d'un phosphate assimilable à base de potasse, de chaux, de magnésie. La suppression de l'un des trois produit à coup sûr l'inanition au bout d'un temps variable.

La valeur nutritive d'un aliment dépend de la *quantité* et de la *qualité* des principes immédiats qui entrent dans sa composition; elle dépend encore, ainsi que nous l'expliquerons plus loin, du rapport suivant lequel ces différents principes nutritifs sont associés les uns avec les autres dans la substance alimentaire.

Pour apprécier cette valeur, il importe donc, avant tout, de déterminer par l'analyse chimique la composition immé-

diate de l'aliment considéré (1). Malheureusement, les procédés employés actuellement dans les laboratoires laissent encore beaucoup à désirer, et ne sauraient donner des renseignements précis sur les propriétés nutritives de chacun des principes immédiats qui composent les matières alimentaires. En effet, dans l'impossibilité d'isoler les uns des autres les différents composés azotés contenus dans un aliment, les chimistes désignent sous le terme générique de protéine, et considèrent comme propre à la nutrition, la totalité de substance azotée fournie par sa matière sèche (2). Or, les végétaux renferment souvent une quantité plus ou moins considérable d'amides (Az H^2), sans valeur nutritive aucune, et dont l'azote est dosé avec celui des albuminoïdes, c'est-à-dire avec l'azote assimilable.

De même, on qualifie de matières grasses, et l'on groupe comme ayant des propriétés nutritives identiques, l'ensemble des substances solubles dans l'éther, bien que la plupart d'entre elles, comme les résines, les carbures d'hydrogènes, etc., ne fournissent absolument rien à la nutrition.

Enfin, les extractifs non azotés, dosés par différence, après qu'on a isolé la cellulose fortement agrégée, forment, eux aussi, un groupe extrêmement complexe d'éléments

---

(1) Nous parlons ici de la composition immédiate de la *matière sèche,* c'est-à-dire de la composition d'une substance qui a été privée par la chaleur de la totalité de l'eau qu'elle renfermait et qui, malgré son utilité, n'a aucune valeur nutritive.

(2) Pour déterminer la richesse d'un aliment en protéine, les chimistes se contentent du dosage de l'azote de sa matière sèche et de multiplier le nombre obtenu par 6,25, représentant le quotient de 100 divisé par 16. Cela suppose que tout l'azote de cette matière est sous forme d'albuminoïde, en contenant 16 p. 100, alors qu'on sait fort bien qu'il n'en est pas ainsi. Il doit conséquemment être entendu que ce terme de protéine, dont on se sert pour désigner le groupe des matières azotées, n'a qu'une valeur de convention. On y renoncera dès que l'analyse immédiate sera plus avancée, pour tenir compte de chacun des principes immédiats composés azotés considérés isolément.

nutritifs dont la composition, la valeur et les propriétés sont très diverses.

Les quelques lignes qui précèdent montrent que les notions scientifiques mises actuellement à notre disposition sont encore fort incomplètes. — Elles comportent de nombreux compléments. Mais telles qu'elles sont et en les comparant à ce que nous possédions avant qu'elles fussent acquises, il n'est pas douteux qu'elles ont réalisé un très grand progrès, dont la pratique de l'alimentation peut faire son profit en de nombreuses occasions.

Divisions des aliments. — D'après leur composition immédiate, les substances alimentaires des herbivores peuvent être divisées en deux catégories. La première comprend les aliments *concentrés*; la deuxième renferme les aliments *bruts* ou *grossiers*.

On appelle aliments concentrés ceux qui contiennent une forte proportion de matière azotée protéique, et dont la richesse en cellulose n'atteint pas ordinairement 20 p. 100. Ces aliments, fournis surtout par les grains des céréales, les graines des légumineuses, les tourteaux oléagineux, se subdivisent à leur tour en aliments *faiblement concentrés* et en aliments *fortement concentrés*.

Les aliments faiblement concentrés ne renferment pas au delà de 12 p. 100 de matière protéique. L'avoine est le type des matières alimentaires de ce groupe.

Les aliments fortement concentrés contiennent de 12 à 20 p. 100 de protéine et souvent même au-dessus de cette dernière proportion. La féverole et les tourteaux appartiennent à cette catégorie.

Les aliments bruts ou grossiers sont pauvres en matières azotées et renferment au moins 30 p. 100 de fibres ligneuses ou de cellulose fortement incrustée. Les pailles, les fourrages grossiers présentent cette composition.

DÉSIGNATION des ALIMENTS.	EAU (MOYENNE PROBABLE).	MATIÈRE SÈCHE TOTALE (organique et inorganique).			PARTIES CONSTITUANTES ISO					
					ÉLÉMENTS protéiques.			MATIÈRES grasses.		
		Minimum.	Maximum.	Moyenne probable.	Minimum.	Maximum.	Moyenne probable.	Minimum.	Maximum.	Moyenne probable.
1° GRAINS.										
Orge	14.3	80.9	89.2	85.7	2.6	27.1	10.0	4.4	2.6	2.3
Avoine.	13.7	83.6	90.5	86.3	6.3	21.4	12.0	3.9	7.3	6.0
2° RACINE.										
Carotte	83.9	10.1	20.8	14.1	0.5	2.4	1.3	0.2	0.8	0.3
3° PAILLE.										
Paille de froment	14.3	74.0	91.9	85.7	1.4	5.6	2.0	0.6	2.0	1.5
4° FOURRAGES VERTS.										
Trèfle incarnat	82.0	17.4	18.5	18.0	2.7	3.0	2.8	0.6	0.9	0.7
Trèfle ordinaire	79.3	14.7	28.7	20.7	2.2	6.2	3.7	0.7	0.8	0.8
Luzerne	75.3	16.5	30.1	24.7	2.8	7.2	4.5	0.5	0.9	0.7
Sainfoin.	70.8	22.0	40.5	29.2	1.9	4.0	2.6	0.2	0.6	0.4
5° FOIN.										
Foin de luzerne	16.4	83.3	87.5	83.6	13.1	19.7	14.4	2.3	3.8	2.8
Foin de prairies naturelles	14.3	80.3	90.2	85.7	7.2	17.1	8.5	1.4	5.6	3.0
6° DENRÉES DE SUBSTITUTION.										
Farine d'orge	14.5	85.0	86.0	85.5	12.5	14.3	13.0	2.2	3.5	2.2
Son de froment	13.4	84.8	87.4	86.6	10.1	27.0	14.0	2.5	5.5	3.8

LÉES DE LA MATIÈRE SÈCHE.						DANS 100 PARTIES DE MATIÈRE SÈCHE sont contenus:								
EXTRACTIFS non azotés.			LIGNEUX.											
Minimum.	Maximum.	Moyenne probable.	Minimum.	Maximum.	Moyenne probable.	Cendres totales.	Potasse.	Soude.	Chaux.	Magnésie.	Oxyde de fer.	Acide phosphorique.	Acide sulfurique	Chlore.
55.8	76.3	64.1	2.5	14.1	16.6	2.60	0.524	0.066	0.068	0.224	0.025	0.902	0.044	0.024
50.2	71.8	56.6	4.1	16.8	9.0	3.14	0.514	0.070	0.117	0.222	0.021	0.723	0.043	0.018
5.9	15.5	9.6	0.7	3.4	1.4	5.58	1.965	1.232	0.637	0.264	0.058	0.695	0.375	0.290
26.7	42.6	35.0	28.9	52.6	49.2	5.37	0.733	0.074	0.309	0.133	0.033	0.258	0.132	0.099
6.1	7.4	6.7	3.8	7.5	6.2	6.08	1.403	0.517	1.921	0.370	0.120	0.428	0.154	0.216
4.2	13.1	8.3	3.7	11.0	6 5	6.83	2.196	0.139	2.406	0.744	0.072	0.674	0.206	0.266
10.5	15.6	13.5	4.6	11.6	9.2	6.95	2.158	0.109	0.720	0.640	0.063	0.405	0.250	0.359
3.5	22.8	12.1	3.1	17.0	10.0	6.02	0.171	1.528	0.521	0.224	0.061	0.842	0.275	0.435
20.0	34.8	25.7	19.3	40.0	34.7	7.46	1.834	0.153	3.146	0.393	0.103	0.657	0.442	0.257
22.6	48.2	38.3	24.0	39.9	29.3	6.02	1.538	0.265	1.007	0.380	0.075	0.482	0.275	0.385
62.5	69.8	67.0	10.3	31.0	20.1	2.33	0.670	0.059	0.065	0.315	0.047	1.102	0.072	0.021
28.5	61.5	45.0	4.1	34.6	18.3	6.19	1.648	0.028	0.194	0.014	0.059	3.159	0.008	0.005

Pour les classer ainsi et pour raisonner sur la valeur nutritive probable de chacun, il est indispensable de posséder les renseignements analytiques recueillis par les chimistes sur leur composition. En conséquence, nous empruntons à Th. von Gohren ceux qui se rapportent aux substances employées dans l'alimentation du cheval de troupe. Ce sont les plus complets qui aient été publiés jusqu'à présent. Ils indiquent non seulement la composition moyenne des aliments et leur richesse en matières minérales, mais encore les écarts quantitatifs qui peuvent se présenter pour chacun des principes immédiats selon la qualité, la provenance, le degré de maturité et l'état de conservation des végétaux. Ces écarts, sur lesquels les maxima et les minima du tableau ci-contre fixent l'attention, nous ont paru mériter d'être mis sous les yeux de nos lecteurs. Les praticiens, qui n'ont d'autre moyen d'estimer la richesse des aliments que l'induction ou la simple analogie, nous sauront gré de leur faire connaître dans quelle mesure cette richesse est susceptible de varier. A eux d'adopter la moyenne présentée comme probable ou de se rapprocher du maximum ou du minimum inscrits, selon qu'ils le jugeront à propos.

Relation nutritive. — Le tableau qui précède nous fait voir que les diverses matières alimentaires dont se compose la ration du cheval de troupe ne sont pas toutes également riches en éléments protéiques, en substances grasses, en extractifs non azotés, en cellulose et en sels nutritifs. Chez les uns, ce sont ou les albuminoïdes ou les hydrates de carbone qui prédominent ; chez les autres, c'est le ligneux ou toute autre substance. Or, quand un principe immédiat est prédominant au delà d'une certaine proportion que nous aurons à déterminer, il passe dans le tube digestif sans être entièrement attaqué, et une partie est rejetée avec les matières fécales sans avoir profité à la nutrition.

La quantité de ce qui est perdu varie suivant différentes

causes, que nous allons examiner en commençant par la plus importante. Nous voulons parler de l'influence du rapport d'après lequel sont associés les principes immédiats d'un même aliment.

Quelques physiologistes avaient déjà remarqué que les corps gras mélangés aux albuminoïdes en facilitent la digestion et l'absorption; que l'amidon semblait, au moins dans certains cas, exercer la même action, et que, réciproquement, les corps azotés, à leur tour, favorisaient l'absorption des graisses et des glycosides.

Les Allemands sont allés plus loin et ont fait voir, par des recherches nombreuses, que les principes immédiats alimentaires ont besoin d'être, les uns par rapport aux autres, dans certaines proportions, pour être utilisés aussi bien que possible au profit de la nutrition. De là est venue la nécessité de déterminer, d'abord pour chaque aliment en particulier, et ensuite pour chaque ration plus ou moins complexe, ce que l'on appelle la *relation nutritive*.

On entend par *relation nutritive* ou *relation digestive* d'un aliment le rapport qui existe entre la quantité de matière azotée protéique qu'il renferme et la somme des substances non azotées qui s'y trouvent contenues.

Ce rapport s'exprime par une formule qu'on écrit indifféremment des deux manières suivantes : M A : M N A ou $\frac{MNA}{MA}$.

Le numérateur M A représente la quantité des matières protéiques.....	renfermés dans la même substance alimentaire.
Le dénominateur M N A indique la somme d'extractifs non azotés et de principes gras......................	

Les sels minéraux et le ligneux ne sont pas comptés

dans la déterminatien de la relation qui nous occupe. La raison de cette exclusion sera donnée plus loin.

La relation nutritive est dite *étroite* ou *large*, selon l'écart qui existe entre ces deux termes. Elle est considérée comme étroite lorsque le second terme a une valeur moindre que 5 ; elle est large, au contraire, quand cette valeur est plus grande que ce chiffre. Il va de soi que cette relation se rétrécit à mesure que son second terme se rapproche de l'unité, et qu'elle s'élargit d'autant plus que ce terme s'éloigne de 5, en augmentant. Exemple : $\frac{1}{4,5}$, $\frac{1}{4}$, $\frac{1}{3,5}$ sont des relations de plus en plus étroites ; $\frac{1}{5}$, $\frac{1}{5,5}$, $\frac{1}{6}$ sont des relations de plus en plus larges.

La composition d'un aliment en principes organiques étant connue, rien n'est plus facile que d'établir sa relation nutritive. Ainsi, pour constituer le premier terme de cette relation, il suffit de multiplier le produit du dosage de l'azote par le coefficient 6,25. Par conséquent, un aliment dont la matière sèche donne 3 d'azote a pour premier terme de sa relation nutritive : $3 \times 6,25 = 18,75$.

Sur la constitution de la valeur du second terme, certaines divergences se sont produites (1). Sans nous arrêter ici aux considérations purement scientifiques imaginées par les auteurs qui ont traité cette question, disons tout de suite que, dans l'expression de la relation nutritive, il est plus conforme aux nécessités de la pratique de représenter le deuxième terme de ce rapport par l'addition des matières solubles dans l'éther avec les extractifs non azotés.

Comme exemple de ce qui précède, établissons la relation nutritive de l'avoine, dont la composition immédiate nous a été indiquée par Gohren :

(1) Voir E. Wolff, *Die Versuchsstation Hohenhein*, 1870.

Le premier terme de la relation sera formé par la proportion de matière protéique contenue dans la céréale en question = ... MA 12

Le deuxième terme sera représenté par la somme des extractifs non azotés (56,6) ajoutée à celle des substances grasses (6,0), 56,6 + 6,0 = ... MNA 62,6

Si maintenant on veut réduire le rapport à sa plus simple expression, on représentera le numérateur de la fraction par l'unité. . . . . MA 1

Et le dénominateur par le quotient de la division du deuxième terme par le premier (62,6 : 12) = ... MNA 5,22

Nous verrons dans le paragraphe suivant l'influence qu'exerce la relation nutritive sur la digestibilité des principes alibiles. Mais auparavant il convient de faire remarquer qu'une même relation ne convient pas également à tous les animaux, et qu'il y a sous ce rapport des différences dépendant de l'âge, de l'individualité et d'autres conditions particulières.

Les expérimentateurs allemands ont démontré par de nombreuses recherches que la relation nutritive doit varier entre les limites extrêmes : $\frac{MA}{MNA}\frac{1}{2}$ et $\frac{MA}{MNA}\frac{1}{5}$, de façon que les besoins de l'organisme, aux différentes phases de la vie, soient toujours satisfaits. Il est prouvé, en effet, que chez les jeunes animaux la puissance d'assimilation est à son maximum de développement au moment de la naissance, et qu'elle décroît ensuite régulièrement jusqu'à l'âge adulte, où elle se maintient invariable durant un certain temps, pour décroître de nouveau pendant la vieillesse.

Cette grande puissance d'assimilation chez les jeunes se manifeste particulièrement pour les matières azotées ou protéiques et pour l'acide phosphorique qui les accompagne

toujours en proportion déterminée. Il en est évidemment ainsi parce que ces deux sortes de substances sont les matériaux essentiels de la constitution du squelette et des parties molles. C'est à cela que la nature a pourvu en donnant une relation nutritive très élevée au lait maternel, qui contient, dans les proportions les plus conformes aux nécessités physiologiques, tous les éléments nécessaires à la constitution des tissus animaux.

Le produit de la sécrétion lactée de la jument (1) renferme 1,70 de beurre, 1,00 de caséine, 1,90 d'albumine et 6,70 de lactose ou de sucre de lait :

$$\frac{1{,}00 + 1{,}90}{1{,}70 + 6{,}70} = \frac{1}{2{,}8}$$

L'accroissement est loin d'être terminé au moment où le jeune sujet cesse de téter le lait de sa mère. Il jouit encore d'une très grande puissance d'assimilation à l'égard des principes azotés. Aussi trouve-t-il dans les jeunes pousses des prairies, qui succèdent naturellement au lait maternel, 18,4 de protéine, 6,8 de matières grasses et 49,7 d'extractifs non azotés :

$$\frac{18{,}4}{6{,}8 + 49{,}7} = \frac{1}{3}$$

Plus tard, au fur et à mesure que le développement s'achève, la nécessité d'assimiler des substances azotées devient moins grande et la relation nutritive s'abaisse de plus en plus. De même, à mesure que la plante se rapproche de sa maturité, elle devient plus pauvre en matières protéiques et extractives, et plus riche en substances ligneuses.

Au moment de leur floraison, les graminées ne contien-

(1) La composition chimique du lait des autres femelles domestiques est très approximativement la même, sauf celui de la truie, qui est plus riche en matières azotées.

nent plus que 6 de protéine, 1,5 de matières grasses, 22,8 d'extractifs non azotés :

$$\frac{6}{1,5 + 22,8} = \frac{1}{4}$$

Enfin, lorsqu'elles sont complètement mûres et desséchées, elles ne renferment que 8,5 de protéine, 3,0 de matières grasses et 38,3 d'extractifs :

$$\frac{8,5}{3,0 + 38,3} = \frac{1}{4,8} \text{ ou en nombre rond } \frac{1}{5}.$$

Tout cela concorde pour montrer que plus les animaux sont jeunes, plus ils doivent trouver dans leur alimentation une proportion considérable de protéine ou de matières azotées. Remarquons, toutefois, que les rapports $\frac{1}{2}, \frac{1}{3}, \frac{1}{4}, \frac{1}{5}$, que nous venons d'indiquer comme représentant la relation nutritive favorable depuis la naissance jusqu'à l'âge adulte, n'ont pas une valeur absolue, et qu'ils sont susceptibles de varier suivant les individus et les circonstances auxquelles sont soumis les animaux.

Digestibilité des aliments. — La composition d'un aliment et le rapport dans lequel sont associés les principes immédiats qu'il renferme ne suffisent pas pour donner une idée complète de ses facultés nutritives. Il faut encore tenir compte de ce qu'on appelle la *digestibilité* des matières alimentaires, c'est-à-dire de la propriété en vertu de laquelle les principes alibiles qui les composent sont dissous et absorbés dans les organes digestifs.

Cette propriété, plus ou moins développée, dépend de la constitution physique et de la composition immédiate de l'aliment considéré.

On désigne sous le nom de *digestibilité absolue* celle qui

est inhérente à la constitution physique de la substance alimentaire. Elle est directement proportionnelle à la solubilité naturelle des principes immédiats constituants de l'aliment, et inversement proportionnelle à la consistance, à la cohésion des tissus végétaux qu'ils concourent à former. On sait, en effet, que les substances sapides, poreuses, d'une trituration facile, celles que l'eau, la salive, les fluides alcalins ou les acides affaiblis dissolvent aisément, sont douées d'une digestibilité absolue très élevée. Au contraire, les aliments durs, coriaces, difficiles à écraser et s'imprégnant peu ou pas de salive traversent le tube digestif sans être digérés.

En ce qui concerne les végétaux alimentaires, cette digestibilité absolue est en raison inverse de l'âge des plantes ou de l'état d'avancement de leur végétation. A tout âge, elle est en raison directe des préparations qu'on leur fait subir en vue d'augmenter leur diffusibilité (macération, fermentation, etc.).

Ainsi, les Allemands ont montré expérimentalement que, dans les jeunes pousses des prairies, la digestibilité absolue était de 0,78 pour la protéine, 0,64 pour les matières solubles dans l'éther, 0,78 pour les extractifs non azotés et de 0,67 pour la cellulose brute, tandis que, pour le foin, elle n'est plus que de 0,59, 0,50, 0,66 et de 0,62.

Wolff a également constaté que la digestibilité des principes immédiats contenus dans l'herbe des prés, et surtout dans le trèfle cultivé, subit des variations décroissantes en rapport avec les différentes périodes de la végétation.

Ces variations, que subit, du reste, la digestibilité des éléments nutritifs de tous les végétaux alimentaires, sont la conséquence des modifications qu'éprouve leur constitution physique lorsqu'ils arrivent à maturité. C'est pourquoi tous les auteurs recommandent de faucher les plantes fourragères, les légumineuses notamment, avant leur maturité

complète, afin de leur assurer la valeur nutritive la plus élevée.

A consistance égale, la digestibilité des principes immédiats est d'autant plus marquée qu'ils sont associés dans un même aliment ou dans une même ration, de manière à constituer une relation nutritive plus favorable relativement à l'âge et à la destination des animaux. Par conséquent, indépendamment de la digestibilité absolue, subordonnée à la constitution physique de l'aliment considéré dans son ensemble, il y a aussi pour chacun des principes immédiats qu'il renferme une *digestibilité relative*, ainsi désignée parce qu'elle est sous la dépendance de la relation nutritive.

En thèse générale, on admet que cette digestibilité relative est d'autant plus grande que la relation nutrive est plus étroite, et inversement. L'expérience montre, du reste, que cette relation exerce une influence sur la digestibilité des principes immédiats constituant de ses deux termes. Ainsi, Haubner a maintes fois constaté qu'en augmentant la proportion de matières azotées d'une ration on rendait digestible une plus grande quantité d'hydrates de carbone. De même, en agrandissant le second terme de la relation nutritive, on exerçait une dépression sur la digestibilité de la protéine. De ce fait, Stohmann a conclu que cette digestibilité relative obéit à une loi qui permet de la prévoir et de la calculer, et qu'il suffit de diviser le premier terme de la relation digestive d'un aliment par un chiffre connu (1), pour déterminer la digestibilité ou la proportion de matière protéique qui sera digérée et assimilée.

Mais, si l'on réfléchit que l'absorption des différents principes nutritifs est nécessairement influencée par la digestibilité absolue de la substance alimentaire qui les contient,

(1) Voir la table des diviseurs de Stohmann dans le *Traité d'agriculture et d'hygiène* de Baillet, t. 3, p. 387.

on s'aperçoit que cette méthode ne saurait indiquer d'une façon exacte la proportion de matière assimilable que chacun d'eux fournit à la digestion. La digestibilité relative n'est calculable qu'à digestibilité absolue égale. Celle-ci étant différente entre deux aliments comparés d'après leur relation digestive, le résultat ne peut être tiré que de la combinaison de ces deux modes de digestibilité.

A l'aide de cette combinaison, opérée judicieusement, on détermine la *digestibilité moyenne* de l'aliment, qui est en quelque sorte la résultante de la digestibilité particulière de chacun des éléments nutritifs qui le composent, et qui donne la valeur nutritive probable de la substance alimentaire considérée dans l'ensemble de sa composition immédiate. On en conclut la proportion de matière organique qu'elle livrera à la digestion, et l'on s'appuie sur cette base pour calculer son effet utile total, lequel sera évidemment en rapport avec cette proportion.

Quoi qu'il en soit, pour traiter cette question avec méthode, il est indispensable de nous occuper de la digestibilité relative de chaque principe immédiat en particulier. C'est ce que nous allons faire en commençant par celle des substances azotées.

Digestibilité relative des matières protéiques. — Stohmann, se basant sur les résultats de plus de cent expériences, a pensé que les principes albuminoïdes d'un aliment sont d'autant mieux assimilés que la somme qui les représente est plus élevée par rapport à celle des substances non azotées auxquelles elles sont associées. En d'autres termes, un aliment dont la relation nutritive est représentée par le rapport $\frac{1}{2}$ fournirait à l'absorption une quantité d'albuminoïdes plus grande qu'une autre matière alimentaire dont la relation digestive s'exprime par le rapport $\frac{1}{4}$.

Partant de là, Stohmann a trouvé, pour chaque relation nutritive, un nombre dont il s'est servi comme diviseur de la somme des substances protéiques contenues dans l'aliment, et avec lequel il a obtenu un quotient qui représenterait la proportion de principes azotés susceptibles d'être absorbés. La série des diviseurs correspondant aux relations nutritives qui se présentent le plus souvent dans la ration forme une table dite des *diviseurs de Stohmann*.

Supposons qu'un cheval consomme un aliment contenant 3,28 d'albuminoïdes et 13,51 de matières non azotées, ligneux compris (1), soit une relation nutritive de $\frac{1}{4,1}$. En consultant la table de Stohmann, on voit que le diviseur correspondant à cette relation est 1,45; or, en divisant 3, 28 par 1,45, on a comme quotient 2,26, c'est-à-dire la proportion de matière albuminoïde digérée.

Mais cette manière d'opérer n'est pas entièrement conforme aux enseignements de la pratique, qui ont fait voir qu'en général, l'absorption des substances azotées est d'autant plus active que la relation nutritive est plus favorable, eu égard à l'âge des animaux. De plus, Stohmann ne tient aucun compte de la digestibilité propre de l'aliment et, comme le fait remarquer Schneider, il subordonne toute l'action nutritive des substances alimentaires à leur richesse en matière azotée.

On s'explique d'après cela que l'on ait élevé des doutes sur la valeur réelle de cette méthode et qu'on préfère s'en rapporter aux coefficients moyens de digestibilité donnés par d'autres tables (2) pour chaque aliment en parti-

(1) Pour faire usage de la table de Stohmann, il faut établir la relation nutritive complète; c'est-à-dire comprendre d'une part les matières azotées, et d'autre part les matières grasses, les glycosides et la cellulose.

(2) Notamment celles de Grandeau, Diétrich et Kœnig.

culier. Schneider, qui a soumis au contrôle d'une pratique éclairée les coefficients de digestibilité publiés par les Allemands, pense que, dans l'état actuel de la question, il est préférable de grouper les aliments qui ont entre eux des propriétés analogues et d'attribuer à chacun de ces groupes un coefficient moyen en ce qui concerne la digestibilité de la protéine. En procédant ainsi, il a établi le tableau suivant, que l'on peut considérer comme le résumé des études et des recherches qui ont été faites à ce sujet.

COEFFICIENTS DE DIGESTIBILITÉ DES MATIÈRES AZOTÉES DES DIFFÉRENTS GROUPES D'ALIMENTS

Fourrages secs (foin, luzerne, trèfle, sainfoin)	0,60
Fourrages verts — —	0,70
Pailles (données dans les mélanges alimentaires)	0,60
Grains { Avoine	0,75
Grains { Orge	0,95
Son de froment	0,70
Farine d'orge	0,95
Carottes	0,15

L'examen de ce tableau montre que, eu égard à son origine, eu égard aux tissus végétaux dont elle fait partie, le coefficient de digestibilité de la protéine est très variable, et que les chiffres donnés par Stohmann n'ont pas la valeur absolue que les Allemands leur attribuent.

Digestibilité relative des matières grasses. — Les expériences de Crusius ont fait voir que ces matières, indépendamment de leur valeur propre comme aliments non azotés, dits respiratoires, exercent sur l'assimilation des aliments protéiques une influence très marquée.

Depuis, Hofmeister a montré expérimentalement que la digestibilité de la substance organique en général, et celle de la protéine et des extractifs non azotés en particulier, augmente au fur et à mesure que s'élève la richesse en matières grasses. Mais il résulte des recherches de cet auteur que l'action exercée par ces dernières ne se fait plus sentir, si ce n'est défavorablement, lorsque leur proportion dépasse

le tiers de celle de la protéine, et qu'elles sont sans effet sur la digestibilité des autres principes alimentaires, quand la somme qui les représente est au-dessous du quart de celles des albuminoïdes et des extractifs qui composent la ration.

Par conséquent, pour que la digestibilité d'un aliment atteigne son maximum (sa relation nutritive étant favorable), il faut que sa *relation adipo-protéique* (1) ne s'élève pas au-dessus de $\frac{m\ g}{M\ A}\frac{1}{3}$ ni qu'elle descende au-dessous de $\frac{m\ g}{M\ A}\frac{1}{4}$. Dans le premier cas, l'excès de graisse traverserait le tube digestif sans servir à la nutrition ; dans le second, les matières solubles dans l'éther seraient en proportion insuffisante pour remplir à l'égard des autres principes nutritifs le rôle que nous venons de signaler.

Quant au coefficient propre des matières grasses, telles qu'elles se présentent dans les tiges végétales, c'est-à-dire en comprenant sous leur nom tout ce qui est soluble dans l'éther, il est pour le cheval de 58,92 p. 100.

Digestibilité relative des matières extractives non azotées.— Les principes non azotés solubles dans l'eau, les alcalis, les acides étendus, et que Henneberg appelle matières extractives non azotées, ne sont pas non plus entièrement digérés.

Les Allemands ont montré que leur digestibilité absolue est à peu près égale pour les espèces appartenant à une même famille végétale; mais que leur digestibilité relative dépend de la proportion de cellulose brute avec laquelle ils

(1) On appelle rapport *adipo-protéique* celui qui existe entre la quantité de matières grasses et celle des substances azotées que renferme un aliment. Cette relation s'exprime par la formule $\frac{M\ g}{M\ A}$; le numérateur représente ici la matiere grasse et le dénominateur la substance azotée.

sont associés dans la ration. Cette digestibilité relative s'élève à mesure que la quantité de fibres ligneuses diminue ; elle s'abaisse d'autant plus que la cellulose devient prédominante. Il résulte de ce fait que les extractifs contenus dans les fourrages grossiers, mal récoltés, sont peu ou pas digestibles.

L'expérience a prouvé, du reste, que la somme des extractifs et du ligneux susceptibles d'être digérés est toujours égale à la quantité d'hydrates de carbone contenus dans l'aliment. Cette règle s'applique évidemment à l'ensemble des matières extractives plus ou moins solubles, dont quelques-unes, telles que les diverses espèces de sucres, la dextrine, sont digestibles en totalité, tandis que les autres ne le sont que pour une faible partie, selon les conditions dans lesquelles elles se trouvent par rapport aux sucs digestifs qui agissent sur elles. Ce dernier cas est celui de l'amidon et des diverses sortes de fécules.

Enfin, nous avons dit, en définissant la digestibilité relative, que celle des hydrates de carbone dépend aussi de leur rapport à l'égard des matières protéiques de l'aliment, de même que la digestibilité de celles-ci est dépendante de la proportion de ceux-là.

Digestibilité relative des matières ligneuses. — Jusqu'aux expériences de Haubner, on croyait que la cellulose brute, sous forme de fibres ligneuses, était absolument indigestible. Ces expériences ont montré que, même à l'état de sciure de bois, c'est-à-dire de ligneux proprement dit, elle est attaquable par les sucs intestinaux. Il est vrai qu'il existe à cet égard de notables différences relativement au genre des plantes qui fournissent la matière cellulosique, et que, dans l'état où la présente le périsperme des graines, elle résiste complètement à la digestion.

Tous les auteurs sont d'accord pour reconnaître que la partie digestible des fibres ligneuses est de la cellulose

pure, et que les produits qui demeurent inattaqués sont ceux dont elle est incrustée et qu'on désigne sous le nom de *lignone, lignose, lignine,* etc. Cette cellulose pure, dont les propriétés sont analogues à celles de l'amidon, est donc seule digestible d'une façon absolue. Mais, d'après Henneberg, sa digestibilité relative serait dépendante de la proportion des extractifs non azotés en présence desquels elle se trouve dans l'aliment. Elle diminue à mesure que cette proportion s'élève; elle s'accroît, au contraire, proportionnellement à l'abaissement de la richesse en extractifs non azotés.

Il s'établit donc, entre ces deux sortes de principes immédiats nutritifs, une véritable compensation, facile à comprendre du reste, quand on connaît l'analogie de leur constitution et l'identité de leur origine dans la végétation. Par le fait de cette compensation, que l'on considère comme une loi dite *loi de Henneberg,* la partie non digérée des extractifs, plus la partie digérée des fibres brutes d'un même aliment ou d'une même ration, représentent exactement la totalité des matières extractives qui s'y trouvent contenues.

C'est pourquoi, dans l'expression de la relation nutritive, il est plus rationnel de négliger les fibres brutes et le ligneux, pour ne tenir compte que des extractifs non azotés. On est toujours sûr que la compensation se réalisera, à cause du rôle particulier que les fibres brutes ont à jouer dans l'alimentation.

Digestibilité des matières minérales. — La partie inorganique des substances alimentaires a une action nutritive qui n'est pas moins indispensable que celle de la partie organique. Les sels minéraux ne prennent pas seulement part à la formation du squelette; quelques-uns d'entre eux entrent dans la constitution de tous les tissus et de toutes les humeurs de l'économie animale.

Parmi les substances minérales, celles dont la présence

est tout à fait nécessaire dans la ration des animaux, surtout pendant leur période de croissance, sont l'acide phosphorique, la potasse, la soude, la chaux, la magnésie, le chlore et le fer. Dünkelberg a montré qu'elles ont une influence directe sur l'assimilation des albuminates et, par conséquent, sur la formation du tissu musculaire des jeunes animaux, ainsi que sur l'activité de la nutrition en général. Voit a prouvé à son tour que l'absence suffisamment prolongée de quelques-unes d'entre elles, de la potasse notamment, entraîne l'inanition au bout d'un temps variable.

Le principal rôle de la potasse dans les échanges nutritifs est de rendre assimilables les phosphates basiques de chaux, qui, sans elle, ne le seraient pas. C'est pourquoi ces phosphates, à l'état cristalloïde où ils se trouvent soit dans les os, soit dans les cropolites naturels, ne sont point assimilés par l'organisme animal, sous quelque forme qu'on les administre et quelque préparation préalable qu'on leur ait fait subir. Pour qu'ils puissent contribuer à la formation des ostéoplastes, il faut qu'ils aient d'abord passé par l'organisme des végétaux ou qu'ils aient éprouvé les modifications qui les amènent à l'état où ils se trouvent dans le lait. La condition la plus favorable est celle par laquelle l'acide phosphorique, à l'état de phosphate de potasse, comme il se trouve dans les graines des céréales, des légumineuses, etc., est mis en présence des sels de chaux contenus dans les tiges végétales fourragères et dans l'eau des boissons. Les réactions qui se produisent alors dans le milieu intérieur du sang, déterminent en présence des éléments du tissu osseux la formation d'ostéoplastes nouveaux.

Il résulte, en effet, des expériences instituées par Weiste et Wildt, que les composés phosphatiques solubles ou facilement attaquables, empruntés directement au règne minéral ou donnés sous forme de poudre d'os, ne s'assimilent

jamais dans l'organisme animal, et qu'on les retrouve dans les déjections en quantité égale à celle qui avait été introduite dans le tube digestif. Quand, par des préparations spéciales, ils ont été rendus diffusibles dans les liquides de l'intestin, les urines les éliminent ; dans le cas contraire, ils sont rejetés avec les excréments solides. Ils exercent toutefois sur l'économie l'action de tous les condiments, en excitant l'appétit et en stimulant les fonctions digestives ; c'est ce qui fait que bien des observateurs ont interprété d'une façon inexacte le résultat de leur administration. La digestion des sels nutritifs ne présente aucune difficulté, parce que, seuls, ceux qui sont solubles dans l'eau peuvent être qualifiés ainsi. Ils sont osmosés surtout par les vaisseaux chylifères.

Coefficient de digestibilité. — On appelle *coefficient de digestibilité* le nombre qui exprime en centièmes la proportion de substance que chaque principe immédiat nutritif ou chaque aliment en particulier fournit à l'assimilation.

L'exposé qui précède nous a fait voir combien sont multiples et complexes les circonstances susceptibles de faire varier la digestibilité des substances alimentaires de genres différents et aussi celle des aliments de même espèce. Il importe donc de bien définir ces circonstances, pour qu'elles puissent être judicieusement appréciées dans la pratique. Or les nombreuses recherches auxquelles les substances alimentaires ont été soumises depuis plus de vingt ans nous ont fourni à ce sujet des indications qui, bien que n'ayant pas une précision mathématique, sont néanmoins très utiles à consulter.

Nous consignons dans le tableau suivant les nombres qui correspondent aux coefficients de digestibilité des aliments communément employés à la nourriture du cheval. Les uns nous ont été fournis par M. Grandeau, les autres sont tirés de l'ouvrage de Diétrich et Kœning. On remar-

quera que les chiffres de la première colonne indiquent la proportion pour cent de matière organique totale qui, dans chaque aliment considéré, peut être absorbée et utilisée par la nutrition.

TABLEAU DES COEFFICIENTS DE DIGESTIBILITÉ DES PRINCIPALES SUBSTANCES ALIMENTAIRES.

SUBSTANCES ALIMENTAIRES.	DIGESTIBLE EN CENTIÈMES DES POIDS CONSOMMÉS.				
	Substance organique totale.	Protéine.	Matières solubles dans l'éther.	Extractifs non azotés.	Cellulose brute.
Herbe des prairies	70,41	78,19	64,17	78,25	67,15
Trèfle rouge avant la floraison	70,94	75,03	66,08	78,63	56,51
— en fleur	63,84	69,26	61,22	71,74	49,65
— à la fin de la floraison	58,29	58,56	44,44	70,65	38,82
Foin des prairies naturelles	64,23	58,82	49,73	65,59	61,83
— de trèfle rouge	59,80	59,17	59,37	69,81	46,53
— de luzerne	58,48	76,47	36,71	65,95	38,77
Luzerne en vert	62,42	79,99	45,01	71,94	38,98
Paille de blé	45,00	26,00	27,00	40,00	52,00
Avoine	68,68	74,68	77,84	74,06	20,15
Orge	»	79,00	68,00	90,00	»

Equivalents nutritifs. — Les documents contenus dans le tableau précédent montrent clairement qu'il ne peut point s'établir de relations d'équivalence entre les aliments de nature différente. Ces équivalents ne peuvent exister que pour les principes nutritifs de même groupe, ayant une provenance analogue et une égale digestibilité absolue et relative. En d'autres termes, un aliment ne peut être substitué à un autre sans inconvénient pour l'alimentation, qu'à la condition d'être du même ordre, et de présenter sensiblement la même relation nutritive et les mêmes coefficients de digestibilité. S'il en était autrement, il ne pourrait pas livrer à la digestion la même quantité de matériaux nutritifs.

Quelques considérations qu'aient fait intervenir Thaer, Pabst, Boussingault, Payen et Allibert dans l'appréciation

théorique de la valeur nutritive des aliments, on ne peut réellement admettre que la paille de froment, par exemple, puisse jamais être, en quantité quelconque, équivalente au foin, alors qu'il y a, entre leurs coefficients de digestibilité, des écarts comme ceux de 45 à 64, 26 à 59, 27 à 50, 40 à 66 et 52 à 62. En prenant pour base la richesse en protéine, 100 de foin équivaudraient à environ 500 de paille. Pour fournir à la digestion la même quantité de cette protéine, qui n'est digestible dans la paille qu'à raison de 0,26, tandis qu'elle l'est dans le foin en raison de 0,59, il faudrait plus qu'en doubler le quantum brut, c'est-à-dire en porter l'équivalent au delà de 1000. Et ainsi à l'égard des autres principes immédiats nutritifs.

On comprend, et l'expérience le montre d'ailleurs, que les relations d'équivalence soient possibles, dans certaines limites, entre les aliments d'une même catégorie et de constitution fort analogue. On comprend que certains aliments bruts ou grossiers puissent se remplacer entre eux et aussi les aliments concentrés, surtout ces derniers à cause de leur plus grande analogie. Les faibles écarts entre leurs coefficients de digestibilité et leur rôle principal, qui est de fournir de la protéine, se prêtent aux calculs nécessaires pour que le même effet nutritif soit obtenu. Le trèfle et la luzerne, la paille de seigle et celle d'avoine, l'orge et le maïs peuvent être équivalents en proportions diverses, eu égard à leur effet nutritif. Le foin et l'avoine, la paille et la farine d'orge, n'étant point de même ordre, ne sauraient être comparés.

C'est dans ces limites qu'il peut être seulement question d'équivalents nutritifs, pour le calcul desquels il est d'ailleurs indispensable de faire intervenir en même temps la composition immédiate et les coefficients de digestibilité.

Coefficients digestifs ou de digestion. — A digestibilité absolue et à digestibilité relative égales, les principes im-

médiats nutritifs ne sont pas toujours digérés en même proportion par tous les animaux. Chacun de ceux-ci a sa puissance digestive propre, son coefficient de digestion, dépendant de son aptitude à élaborer les agents qui métamorphosent et rendent diffusibles les matières alimentaires. Pour régler l'alimentation de façon qu'elle produise son plus grand effet utile, il importe d'être en mesure d'apprécier ce coefficient.

On sait qu'il varie considérablement chez les sujets de genre différent, à l'égard des divers groupes de principes immédiats nutritifs, et que, en ce qui concerne la cellulose par exemple, le cheval est de tous nos animaux domestiques celui qui en tire le parti le moins avantageux. On constate également de notables différences chez les espèces d'un même genre, chez les variétés d'une même espèce, chez les familles d'une même variété, et enfin chez un seul et même individu, suivant les conditions dans lesquelles il se trouve et suivant les différentes phases de son existence. C'est même ce qui rend si difficiles les recherches expérimentales sur l'alimentation et sur la détermination des coefficients de digestibilité en particulier.

Depuis longtemps, les praticiens reconnaissent que c'est surtout par l'aptitude digestive, ou faculté d'utiliser les matières nutritives, que l'individualité exerce son influence d'une façon non douteuse. En effet, parmi les animaux d'une même race, d'une même variété ou d'une même famille, quelques individus se font toujours remarquer par la faculté qu'ils ont de tirer de leur alimentation un meilleur parti que celui qui en est tiré par la généralité des sujets de la même catégorie, tandis que d'autres restent, au contraire, sous le même rapport, beaucoup au-dessous de cette généralité.

On sait également qu'un animal placé dans des conditions différentes peut ne pas utiliser, dans tous les cas et

avec le même profit, la ration qui lui est donnée. En règle générale, le bien-être qui favorise la digestion, l'exercice modéré qui excite l'appétit, etc., etc., sont autant de causes qui provoquent l'utilisation plus complète des principes alibiles des aliments. Au contraire, le travail excessif, surtout après le repas, la surcharge de l'estomac, la souffrance, les mauvais traitements, entravent la digestion et nuisent à l'assimilation.

La définition de ce coefficient digestif étant donnée, nous croyons utile d'appuyer sa réalité en consignant dans le tableau ci-dessous quelques-uns des exemples les plus frappants, fournis par l'expérience :

TABLEAU DE COEFFICIENTS DIGESTIFS (en centièmes des éléments nutritifs).

GENRE D'ANIMAUX.	PROTÉINE.	MATIÈRES SOLUBLES dans l'éther.	EXTRACTIFS non azotés.	CELLULOSE BRUTE.
Équidés adultes.	69,4	58,92	68,59	33,68

Préparation des aliments. — Les substances alimentaires sont susceptibles de recevoir des préparations particulières qui ont pour but de diminuer le travail de l'appareil digestif en facilitant leur ingestion ou leur digestion, d'exciter l'appétit en leur donnant une saveur plus agréable, d'augmenter leur valeur nutritive en changeant leur composition et en les rendant plus propres à céder aux forces digestives les principes alibiles qu'ils renferment. Dans tous les cas, leur effet utile est d'agrandir soit le coefficient de digestibilité, soit le coefficient de digestion.

Ces préparations sont de trois ordres : les premières sont mécaniques ; les deuxièmes, physico-chimiques ; les troisièmes consistent en des mélanges.

Les *préparations mécaniques* ont pour objet de diviser les substances alimentaires trop volumineuses afin de faciliter leur préhension ; de broyer les matières trop dures pour que leur mastication soit plus prompte et plus complète. Elles ont parfois pour seule utilité de faciliter les mélanges ou la confection des mahs.

La *division* des aliments est employée avantageusement pour les fourrages grossiers durs ou mal récoltés, pour les racines et pour les tubercules. Elle rend leur consommation plus agréable aux animaux.

L'*écrasement* ou *mouture* est indispensable pour les graines entourées d'un périsperme épais et dur, absolument inattaquable par les sucs digestifs, et pour celles qui, en raison de leur forme et de leur volume, échappent plus ou moins complètement à la mastication.

Cette préparation doit être considérée comme généralement utile, puisqu'une des lois de la chimie générale nous enseigne que les grains concassés, décortiqués ou moulus sont plus facilement digestibles et plus rapidement attaquables par les sucs intestinaux. Toutefois, en ce qui concerne l'application de l'avoine à l'alimentation des équidés moteurs, il y a lieu de faire une réserve, sur laquelle nous nous expliquerons en temps opportun.

Les *préparations physico-chimiques* que peuvent subir les aliments sont la *macération*, la *fermentation* et la *cuisson*.

La *macération* agit dans le même sens que le concassage et la mouture, sur lesquels elle a l'avantage de l'économie. Elle s'emploie pour les aliments concentrés secs et durs, afin de faciliter leur mastication et d'augmenter la digestibilité de leurs principes immédiats, en diminuant leur consistance et en rompant par le gonflement le périsperme des graines.

La *fermentation* ne peut agir utilement que sur les matières féculentes et sucrées, à la condition de demeurer alcooli-

que ou à peine acétique. Le cheval, en effet, recherche l'odeur et la saveur vineuses, manifeste de la répugnance pour les aliments aigris, et dédaigne ceux qui, ayant subi la fermentation butyrique, ont une odeur repoussante et des propriétés toxiques.

Maintenue dans de justes limites, la fermentation ramollit les substances alimentaires, donne une odeur agréable aux matières inodores et une saveur acidule ou sucrée à celles qui sont fades ou insipides. En outre, elle augmente l'appétit et excite la digestion par son action condimentaire.

La *cuisson*, qui s'opère par la chaleur humide (coction) ou par la chaleur sèche, exerce sur les aliments une double influence. Elle fait disparaître certaines saveurs désagréables en détruisant les principes auxquels elles sont dues, ou bien elle en développe d'agréables en provoquant la formation de produits nouveaux. Elle augmente aussi la diffusibilité de certains éléments nutritifs et diminue celle de quelques autres. Elle agit dans le premier sens sur l'amidon, qu'elle ramollit, et dans le second sur l'albumine qu'elle coagule. Sa double action se manifeste donc à la fois sur le coefficient de digestibilité et sur le coefficient digestif. Néanmoins, ses effets sont négligeables ou nuls en ce qui concerne l'alimentation du cheval.

Les *mélanges* d'aliments n'ont pas seulement l'avantage d'exciter l'appétit par la variété qu'ils introduisent dans l'alimentation et d'accroître ainsi le coefficient digestif par leur action condimentaire ; ils agrandissent encore, dans certains cas, le coefficient de digestibilité.

On sait que les aliments bruts ou grossiers, consommés seuls et sans préparation, ont une digestibilité très faible, tandis que, mélangés avec d'autres, surtout avec ceux qui sont humides et fermentescibles, ils acquièrent une digestibilité à peu près double. Ainsi, le coefficient de la protéine

contenue dans la paille de froment est de 0,26. Dans cette même paille hachée et employée sous forme de mash, il s'élève à 0,46.

Composition de la ration. — La ration est la quantité d'aliments que l'animal consomme en vingt-quatre heures, et dans laquelle il doit trouver la *qualité* et la *quantité* de matériaux nécessaires pour réparer ses pertes, et pour alimenter son fonctionnement en tant que machine en exploitation.

Naguère, on divisait la ration journalière en deux parties sans avoir égard à sa composition. La première était constituée par la quantité d'aliments qu'un animal adulte et ne rendant aucun service avait besoin de prendre chaque jour pour la conservation de son poids vif, c'est-à-dire pour la réparation des pertes occasionnées par le travail intérieur de la machine. On la nommait *ration d'entretien* ou de *conservation*.

La seconde partie, représentée par tout ce qu'on ajoutait à la ration de conservation pour permettre à l'animal de donner du travail ou des produits, était appelée *ration de production*.

Ces vagues notions sont abandonnées aujourd'hui, et, dans l'état actuel de la science, on admet, conformément à ce que l'expérience nous enseigne, qu'une *quantité* plus ou moins grande de matières alimentaires ne saurait garantir suffisamment l'entretien de la machine animale et que la considération de la *qualité* est au moins aussi importante. Ce n'est pas seulement par une ration quelconque qu'on peut assurer le fonctionnement normal de l'organisme ; c'est surtout par une substance spéciale, variable suivant le genre du sujet à nourrir.

Cette substance, communément appelée *aliment essentiel d'entretien*, est celle que l'animal consomme de préférence lorsqu'il est abandonné à son propre instinct. Pour les équidés, c'est l'herbe fine et savoureuse des prairies sèches et

élevées qui, conservée après dessiccation à l'air, constitue le bon foin de pré.

Toute ration de cheval, pour être bien établie, doit donc avoir pour base une certaine quantité de l'aliment essentiel d'entretien que nous venons de définir. Cette quantité a, du reste, été déterminée par l'expérience. Il résulte, en effet, des recherches poursuivies sur un grand nombre de sujets, qu'elle peut être fixée, *en matière sèche alimentaire*, à une moyenne de 1 p. 100 du poids vif de l'individu à nourrir. Beaudement a même conclu, du résultat des mille pesées opérées par lui sur des chevaux de la garnison de Versailles, que les pertes causées par le fonctionnement des organes, que les exigences physiologiques des animaux sont inversement proportionnelles à leur poids ; d'après cet auteur, la même ration de 5 kilogrammes entretiendrait aussi bien un cheval de 700 kilogrammes qu'un cheval de 500 kilogrammes.

M. Baron admet, comme Beaudement, que la vitalité d'un organisme est en raison inverse de son volume ; mais, pour lui, la ration doit être proportionnelle aux surfaces et non aux masses. « La nutrition, dit à ce propos l'éminent professeur d'Alfort, résulte d'un équilibre mobile entre deux courants opposés, *assimilation* et *désassimilation*. Le premier de ces actes physiologiques se fait par les surfaces, le second s'opère proportionnellement à toute la masse de l'individu. Ce que l'on appelle *vitalité* d'un être revient, dès lors, à une question de rapport entre ses éléments superficiels et ses éléments cubiques..... » Toutefois, si l'on réfléchit que chaque particule de l'organisme assimile et désassimile pour son propre compte, il semble plus logique d'admettre, avec le regretté professeur de l'Institut agronomique de Versailles, que le poids vif de l'animal doit être pris pour base du calcul de la ration d'entretien. C'est donc d'après les calculs de ce dernier que nous estimerons la

quantité de nourriture nécessaire à la réparation des pertes occasionnées par le travail *intérieur* de nos chevaux.

Lorsque l'entretien est assuré par la qualité et par la quantité de l'aliment naturel du sujet, la machine est disposée au mieux pour fonctionner à notre profit. Il reste à lui fournir pour cela les matières premières dont la transformation produit le travail extérieur ou disponible.

En augmentant le poids de l'aliment d'entretien, le but pourrait être atteint ; mais il contient une proportion de cellulose brute dont le volume ne permettrait point d'introduire dans l'estomac une quantité suffisante de ces matières premières, dont la plus importante est la protéine. En fait, la force vive engendrée par les transformations nutritives est toujours proportionnelle au quantum de protéine assimilé par l'organisme. Il convient donc mieux d'emprunter le complément de la ration aux aliments concentrés que les Allemands nomment aliments de force ou aliments adjuvants et que M. Sanson préfère appeler aliments complémentaires, parce qu'ils complètent la ration au point de vue de la fonction économique.

Cet *aliment de force* ou *complémentaire* peut être formé d'une ou plusieurs substances. En général, plusieurs valent mieux qu'une, puisque les mélanges d'aliments ont l'avantage d'exciter l'appétit par la variété qu'ils introduisent dans l'alimentation, d'accroître le coefficient digestif par leur action condimentaire et d'agrandir, dans certains cas, le coefficient de digestibilité. Aussi, dans les administrations qui exploitent une nombreuse cavalerie, a-t-on essayé d'utiliser comme aliments de cet ordre une foule de substances riches en azote, en donnant, bien entendu, la préférence à celles qui le fournissent au plus bas prix. Mais les expériences entreprises à ce sujet n'ayant pas donné les résultats qu'on en avait espérés, quand il s'est agi d'alimenter l'énergie devant être dépensée en mode de vitesse, l'ar-

mée n'a guère encouragé les innovations de ce genre et a maintenu, avec raison, la préférence qu'elle a de tout temps accordée à l'avoine, qui, seule, donne aux chevaux de nos pays l'excitabilité nerveuse indispensable au bon fonctionnement de la machine aux allures vives.

On fait encore entrer dans la ration, en vue d'augmenter son volume, une troisième catégorie de substances riches en cellulose et dont la valeur commerciale est peu élevée. Ces substances, désignées sous le nom générique d'*aliments adjuvants*, laissent, après la digestion, un résidu qui pourvoit les intestins du lest nécessaire à leur fonctionnement normal et en l'absence duquel l'osmose des éléments nutritifs digérés est toujours moins complète.

Tel est le rôle de la paille dans l'alimentation du cheval de troupe.

La ration complète se compose donc nécessairement de trois aliments : 1° un aliment spécial d'entretien, invariable pour les animaux du même genre et indispensable pour le fonctionnement normal de l'organisme ; 2° un aliment complémentaire choisi eu égard à ses propriétés particulières et au but qu'il doit faire atteindre ; 3° un aliment adjuvant formant le ballast nécessaire au bon fonctionnement des organes digestifs. Le premier et le dernier peuvent être représentés par une seule et même substance lorsque la teneur de l'aliment d'entretien en cellulose brute ou en fibres ligneuses est suffisante pour qu'il fournisse le lest dont nous venons de parler. Mais ce n'est pas le cas du cheval de troupe, dont la ration en foin est limitée et à qui les fourrages grossiers ne conviennent pas.

Mais cette ration n'est point, par cela seul, bien constituée. Il faut, en outre, que, dans son ensemble, elle présente une relation nutritive convenable.

L'aliment essentiel d'entretien la présente toujours quand

il a été bien choisi conformément au principe posé. Il n'y a donc à s'occuper que des deux autres et qu'à combiner leurs proportions de façon à leur faire atteindre leur maximum de digestibilité relative, qui dépend du coefficient digestif de l'animal à nourrir. On sait que ce coefficient varie, pour un même genre, suivant l'âge des sujets et que les équidés adultes peuvent utiliser au plus 5 de matières azotées contre 1 de protéine. La relation nutritive convenable pour ces derniers serait, d'après cela $= \frac{1}{5}$. Mais nous avons vu que, en vertu de la loi de compensation de Henneberg, la proportion de cellulose digérée est en raison inverse de la richesse de la ration en extractifs non azotés. Comme la cellulose brute a toujours une valeur commerciale inférieure à celle des extractifs, il convient, dans la composition des rations d'adultes, de régler la relation nutritive de manière à faire fonctionner cette loi à notre profit. On y parvient en réduisant le second terme de la relation au minimum possible, d'après le coefficient de digestibilité absolue de la cellulose brute faisant partie de la ration. C'est pourquoi cette cellulose est laissée de côté dans l'établissement de la relation nutritive. Dans la généralité des cas, la valeur de ce second terme peut descendre jusqu'à 4. La cellulose digestible fournit à la nutrition le complément de matière non azotée.

En consultant la table que nous avons empruntée à Gohren et en appréciant judicieusement la composition immédiate des substances alimentaires à mettre en œuvre, on réalise facilement par le calcul la relation nutritive voulue. L'aliment essentiel d'entretien, dont la quotité est connue, ajouté à l'aliment adjuvant, qui se mesure au volume, donne une première relation qui, bien entendu, est toujours trop large. Il s'agit de la ramener aux limites indiquées, par l'adjonction d'un ou plusieurs aliments concen-

trés, qui doivent renforcer la valeur du premier terme. Un exemple fera mieux saisir la marche à suivre.

Supposons qu'il s'agisse de composer la ration d'un cheval de troupe, dont la relation nutritive doit atteindre $\frac{1}{5}$ au maximum.

L'aliment essentiel d'entretien et l'aliment adjuvant se calculent ainsi :

		Matière sèche.	Protéine.	Matières solubles dans l'éther.	Extractifs non azotés.	Cellulose brute.
Foin.......	4 kilos.....	3k428	0k340	0k120	1k532	1k172
Paille......	4 kilos.....	3,428	0,080	0,060	1,400	1,968
	8 kilos.....	6,856	0,420	0,180	2,932	3,140

La relation nutritive de cette 1re ration est :

$$= \frac{\text{MA } 0{,}420}{\text{MNA } 0{,}180 + 2{,}932} = \frac{1}{7{,}40}.$$

En ajoutant 5k,05, d'avoine nous aurons la composition suivante :

		Matière sèche.	Protéine.	Matières solubles dans l'éther.	Extractifs non azotés.	Cellulose brute.
1re ration...	8 kilos....	6k856	0k420	0k180	2k932	3k140
Avoine.....	5k05.......	4,358	0,606	0,303	2,858	0,454
	13k05.......	11,214	1,026	0,483	5,790	3,594

Dont la relation digestive sera $= \frac{\text{MA } 1{,}026}{\text{MNA } 0{,}483 + 5{,}790} = \frac{1}{6}.$

Si l'on considère que le cheval à qui cette ration est donnée consomme au plus la moitié de la paille distribuée, on peut vraisemblablement conclure que la relation nutritive des matières introduites dans le tube digestif se rétrécit sensiblement et oscille autour du rapport $\frac{1}{5}$, qui est celui que nous avons voulu établir dans cet exemple. Du reste, on ne vise point, dans ces sortes de calculs, à une précision que ne saurait comporter l'incertitude des appréciations sur la

composition des matières alimentaires. Il faut se contenter d'approximations.

Si maintenant on voulait rétrécir davantage la relation dont il s'agit, il suffirait de substituer à une partie de la ration de paille ou de foin son équivalent en avoine ou d'augmenter la quantité de cette dernière (1).

CHAPITRE III.

ABSORPTION. — NUTRITION. — SÉCRÉTIONS.

§ 1er. — Absorption.

Les principes immédiats, dont nous venons d'étudier l'origine, la composition et les propriétés nutritives, pénètrent dans le torrent circulatoire après avoir subi, au contact des fluides intestinaux, des métamorphoses qui les rendent diffusibles. C'est de ce phénomène, connu sous le nom d'*absorption intestinale*, que nous allons nous occuper sommairement.

La surface muqueuse de l'intestin, particulièrement celle de l'intestin grêle, est hérissée d'une multitude de villosités, terminées en cul-de-sac et destinées à puiser, par osmose ou dialyse, les éléments du chyle formés par la diffusion des principes nutritifs des aliments.

Ces prolongements filiformes, dont le nombre est d'environ 50 millions pour le seul intestin grêle, sont constitués : 1° par une enveloppe épithéliale ; 2° par un réseau vasculaire, origine des veines mésaraïques ; 3° par une gangue sar-

(1) Exemple : La ration de route, par le fait de la suppression de la paille et de l'augmentation de la quotité de foin et d'avoine, présente une relation plus favorable que celle affectée aux chevaux en garnison.

codique ; 4° par un chylifère, point de départ des vaisseaux qui servent au transport du chyle. Ces derniers s'abouchent fréquemment entre eux, traversent un ou plusieurs ganglions et aboutissent au réservoir sous-lombaire, encore appelé citerne de Pecquet ou citerne du chyle. De cette ampoule émane le canal thoracique, qui, après s'être bifurqué ou non sur une plus ou moins grande partie de son étendue, va se terminer par une seule embouchure au sommet de la veine cave antérieure, près du point de jonction des deux jugulaires.

Le chyle, puisé dans l'intestin par les villosités de la muqueuse de ce conduit, est donc transporté par les vaisseaux qui leur font suite dans le réservoir de Pecquet, où il s'accumule et d'où il est versé dans le système sanguin par le canal thoracique.

De même que les canaux chylifères, le réseau vasculaire de l'intestin absorbe les produits de la digestion, moins les matières grasses. Ces produits passent dans les veines mésaraïques, puis dans la veine cave postérieure, après avoir traversé le tissu du foie.

L'intestin grêle est incontestablement, de toutes les parties du tube digestif, celle où l'absorption s'opère avec le plus d'activité : l'organisation délicate de sa muqueuse et l'extrême multiplicité de ses villosités facilitent la pénétration des matières succeptibles d'être absorbées et leur transport au centre de la circulation.

Le cœcum absorbe aussi, mais avec moins de rapidité que l'intestin grêle. Chez le cheval, il acquiert, toutefois, une grande importance. C'est lui qui absorbe une grande partie des liquides qui traversent rapidement l'intestin grêle et qui recueille les principes assimilables dont ce dernier s'est dessaisi, s'ils sont suffisamment modifiés pour concourir à la reconstitution des éléments de l'organisme. Sa

muqueuse fine, souple, très vasculaire, à épithélium délié, réunit la plupart des conditions favorables à cette action.

Le côlon et le rectum jouissent aussi, à un degré très prononcé, de la faculté absorbante, car leur muqueuse a les mêmes propriétés que celle du cœcum. L'absorption de cette partie de l'intestin est manifestement mise en évidence par les lavements nutritifs.

§ 2. — Du chyle.

Le chyle, liquide primordiale résultant des élaborations digestives, représente sous une forme nouvelle et définie une fraction de la matière alimentaire. C'est un sang en voie d'évolution.

Nous venons de voir qu'une partie des principes assimilables s'engage dans les veines mésaraïques, l'autre dans les chylifères. Quelles que soient leurs proportions relatives, leur forme en bloc, la figure de leurs éléments microscopiques, elles n'en sont pas moins isomères, de nature et de destination physiologique semblables.

On doit donc entendre, par cette expression de chyle, l'ensemble des produits digestifs absorbés par les vaisseaux sanguins et par les lymphatiques ; mais, pour l'étude physique et chimique, il faut considérer seulement la partie prise par les chylifères et compltèement isolée du sang.

Caractères physiques. — Le chyle, recueilli dans les vaisseaux lactés du mésentère du cheval, varie d'aspect et de couleur selon la nature de l'alimentation que consomme cet animal. Il est à peine trouble et de teinte safranée chez les solipèdes nourris de fourrages ; il devient très clair chez ceux qui consomment de la paille ; l'alimentation riche en avoine le rend opaque et fortement lactescent. Ces derniers caractères sont dus uniquement à la présence des matières grasses tenues en suspension dans ce liquide sous forme de particules

extrêmement fines. Son odeur, qui dépend des nombreux acides gras qu'il contient, rappelle celle de la transpiration de l'animal sur lequel on l'examine. Sa saveur salée tient à la présence du chlorure de sodium et des sels alcalins. Sa densité est inférieure à celle du sang, et il possède comme lui la faculté de se coaguler après avoir été extrait des vaisseaux. Cette faculté, d'autant plus prononcée que le chyle se rapproche davantage de son point de déversement, provient évidemment, comme celle du fluide sanguin, de la présence d'une certaine quantité de fibrine.

Caractères microscopiques. — Le chyle, parfaitement pur, ne présente d'autres éléments figurés que des globules blancs et des granulations graisseuses. Les globules du chyle ou leucoytes, dont les dimensions varient de 5 à 8 millièmes de millimètre, ont une forme sphérique régulière et une surface lisse. Mais cette forme s'altère assez vite, soit spontanément, soit par l'action de divers réactifs, et les changements qu'elle subit sont si prompts qu'ils peuvent être aisément suivis par l'observateur. En effet, quand on examine une goutte de chyle au moment de sa sortie d'un vaisseau mésentérique sur l'animal vivant, on voit certains globules émettre des prolongements mousses ou effilés sur tout leur pourtour; d'autres globules s'étalent en surface et finissent par occuper une étendue deux à trois fois plus considérable que la dimension primitive qu'ils présentaient. Ces modifications de forme sont la preuve que ces globules ne possèdent pas de membrane propre. Les prolongements effilés changent constamment d'aspect et peuvent même revenir sur eux-mêmes pour se confondre de nouveau avec la masse du globule. Les mouvements amiboïdes dont ils sont animés ont pour but d'attirer, d'englober les fragments pulvérulents placés à leur portée et de les faire pénétrer dans l'intérieur du globule qui s'en nourrit. Au contraire, les excroissances arrondies, dites sarcodiques, sont adhérentes au bord du

globule ou reliées à celui-ci par un filament. Elles sont claires, homogènes, lisses et sphériques; elles demeurent à l'endroit où elles se sont produites et jamais ne rentrent dans le leucoyte. A leur centre, on constate la présence d'un noyau provenant du bourgeonnement du noyau globulaire et dans lequel se forme un nucléole distinct. Ce noyau agit comme un centre d'attraction sur la portion herniée, qui finit par se détacher de la masse cellulaire et par donner naissance à un globule nouveau.

La seconde espèce d'éléments figurés que l'on rencontre en suspension dans le chyle est constitué par des granulations graisseuses, extrêmement fines, arrondies, foncées sur leurs bords, brillantes à leur centre, massées autour du noyau ou disséminées dans toute la substance et animées d'un mouvement brownien très rapide.

Composition chimique. — On retrouve dans le chyle toutes les substances solubles qui entrent dans la constitution des aliments et celles qui sont susceptibles de devenir diffusibles par l'action des sucs intestinaux. Ces substances sont: l'albumine sous ses différentes formes et en proportions variables suivant la richesse de l'alimentation en matières azotées ; la fibrine, en voie de formation, dont la quantité oscille entre 1 et 4 millièmes ; les matières grasses, associées ou non à des principes fixes, à des alcalis, et plus ou moins abondantes selon la nature des matières alimentaires et le degré d'activité du travail digestif; le sucre, la dextrine, les matières extractives, les acides gras volatils et des sels minéraux. Toutes ces substances, métamorphosées par l'action digestive, ont, dans le chyle, des formes et des propriétés nouvelles. Les matières azotées, devenues fibrine et albumine, ont acquis la faculté de se coaguler spontanément et de se prendre en masse sous l'influence de la chaleur ; les graisses sont à l'état d'émulsion ; le sucre est devenu fer-

mentescible ; enfin, certains éléments se sont constitués à l'état de globules.

Le chyle, qui est en somme la forme intermédiaire entre l'aliment et le liquide nutritif achevé, verse sans cesse dans ce dernier les aliments de sa rénovation. C'est là un des actes préliminaires de la nutrition. Avant de nous occuper de ce phénomène, il convient d'examiner les propriétés physiques et la composition chimique du fluide réparateur qui fournit à toutes les parties du corps les matériaux nécessaires à leur développement, à leur entretien et à la réparation de leurs pertes.

§ 3. — Propriétés physiques et composition chimique du sang.

Le sang des mammifères est d'un vif rouge dans les cavités gauches du cœur, le système artériel et les veines pulmonaires ; il est rouge brun plus ou moins foncé dans les cavités cardiaques droites, le système veineux et l'artère pulmonaire. Son odeur, peu prononcée et paraissant due à la présence d'acides gras volatils, rappelle celle de l'animal dont il provient ou des produits de sa transpiration. Sa saveur est légèrement salée, sa réaction est alcaline, sa densité est supérieure à celle de l'eau.

Extrait des vaisseaux, il se coagule assez rapidement et prend l'aspect d'une gelée ferme et élastique. Chez les équidés, la masse coagulée se sépare ordinairement en deux parties superposées : l'une, inférieure, dite *caillot noir ;* l'autre, supérieure, appelée *caillot blanc*. Bientôt il s'en échappe une substance liquide, de couleur citrine, dans laquelle les deux caillots contractés sont tenus en suspension. C'est le *sérum sanguin*, contenant le *plasma*.

Le sang se compose d'éléments figurés en suspension dans l'eau, qui en forment la base, et d'éléments colloïdes ou cristalloïdes, à l'état de diffusion ou de dissolution. Il doit

donc être étudié au double point de vue histologique et chimique.

Les éléments figurés sont :

1° Les *globules rouges ou hématies*, petits disques circulaires, renflés sur leur bords, déprimés à leur centre, dépourvus de noyau et entourés d'une membrane d'enveloppe extrêmement mince. Ils sont souvent isolés dans la masse du sang, mais on les voit aussi empilés comme des pièces de monnaie. Leur diamètre est de 1/181 de millimètre chez le cheval. Leur nombre varie beaucoup suivant les individus, l'âge, le sexe, le tempérament et une foule d'autres conditions sur lesquelles nous n'avons pas à nous arrêter. Malassez et Picard pensent qu'ils se forment principalement dans la rate.

Ces globules sont constitués : 1° par une matière albuminoïde spéciale appelé *globuline ;* 2° par une substance cristalloïde colorée en rouge, contenant du fer et du manganèse, et à laquelle on donne le nom d'*hémoglobine*. Cette dernière, en se combinant instantanément avec l'oxygène, forme l'*oxyhémoglobine*, qui se décompose avec la plus grande facilité. C'est par elle que les hématies prennent l'oxygène dans le poumon et qu'ils le transportent dans toutes les parties de l'organisme, pour le céder aux éléments anatomiques, où il est employé à l'accomplissement des réactions nutritives de l'organisme. Les globules rouges sont donc des véritables convoyeurs de l'oxygène, ou plutôt de l'énergie dont il est animé ;

2° Les *globules blancs* encore appelés *leucocytes*, identiques à ceux du chyle, sont incolores, finement granuleux, sphériques ou à contours irréguliers, dépourvus de membrane d'enveloppe, présentant un ou plusieurs noyaux à leur centre, et un diamètre en général plus grand que celui des globules rouges. Ils sont animés de mouvements amiboïdes faciles à observer chez le cheval à une température

de 25 à 30°. Leur nombre, toujours inférieur à celui des hématies, est en moyenne de 1 sur 350 à 500 globules rouges ;

3° Outre les éléments que nous venons de signaler, on rencontre encore dans le sang de très petits corps à peine colorés, d'une grande délicatesse, qu'on a souvent désignés sous le nom de *globulins*. Ranvier les regarde comme de simples granulations fibreuses. Hayem, les considérant comme de jeunes hématies, leur a donné le nom d'*hématoblastes*.

Le *plasma*, dans lequel nagent les globules, forme souvent les deux tiers de la masse du sang. C'est un liquide alcalin, de teinte ambrée, un peu visqueux, qui se coagule à la température ordinaire. Il est formé des éléments suivants :

1° L'*eau*, dont la proportion moyenne est de 80 à 90 pour 100 dans le sang des solipèdes. Le sang veineux en contient un peu plus que le sang artériel ; la quantité varie, du reste, dans les veines des diverses parties du corps. La plupart des maladies augmentent sa proportion ; certaines influences bien connues la réduisent notablement,

2° La *fibrine*, qui constitue le caillot, ne paraît pas préexister dans le sang ; mais il est fort difficile de se rendre compte de sa formation. D'après Denis, le sang renfermemerait une substance soluble, la *plasmine*, formée par l'union de fibrine concrète (insoluble) et de fibrine soluble. En dehors des vaisseaux, cette plasmine se dédoublerait en ses deux éléments, et la coagulation résulterait du dépôt de la fibrine concrète. A cette hypothèse, Schmidt a tenté d'en substituer une autre. Selon lui, la fibrine a pour générateurs deux substances albuminoïdes : la substance *fibrinogène* et la substance *fibrinoplastique* ou paraglobuline, toutes deux contenues dans le sang, et dont la combinaison produirait la fibrine. Mais, pour expliquer la non coagulation du sang

dans les vaisseaux sains, Smidt a dû modifier récemment sa théorie. Il admet aujourd'hui que les deux générateurs de la fibrine ne peuvent s'unir que sous l'influence d'un *ferment*. Celui-ci n'existerait pas tout formé dans le sang ; il prendrait naissance aux dépens des leucocytes, qui s'altèrent rapidement à l'air libre, à la température ordinaire. Beaucoup d'autres théories ont été émises au sujet de la coagulation ; nous ne pouvons nous y arrêter ici. Disons seulement que Hammarsten ne reconnaît qu'un seul générateur, le *fibrinogène*, et que Hayem fait jouer un rôle spécial, dans la transformation en fibrine de ce principe, à la décomposition des hématoblastes.

3° L'*albumine* ne représente environ que les 40 à 50 millièmes de la masse du sang. C'est un fluide incolore, visqueux, filant, d'une saveur fade, mucilagineux, plus pesant que l'eau et soluble dans ce liquide. L'albumine se coagule à la température de 70° en une masse blanche, opaque, insoluble dans l'eau. La soude et la potasse empêchent sa coagulation par la chaleur et redissolvent l'albumine coagulée. Quand cette opération se fait à chaud, l'albumine se transforme en protéine avec dégagement d'ammoniaque. Sa quantité augmente dans certaines circonstances ; elle diminue généralement quand celle de la fibrine devient plus considérable. C'est ce qui a fait croire à certains physiologistes que celle-ci se formait aux dépens de celle-là.

4° Les *matières grasses* se trouvent dans le sang sous différents états, et en assez forte proportion. Les unes y sont en nature et tout à fait libres, comme dans le chyle ; les autres y sont dédoublées et transformées en acides libres ou associées aux alcalis. Elles existent partie dans le sérum, partie dans les globules. La proportion de ces matières varie sensiblement suivant l'état de l'entretien du sujet ; dans tous les cas, elle est plus considérable dans le sang veineux que dans le sang artériel.

5° La *dextrine animale* et le *sucre de raisin* ou *glucose* existent constamment dans le sang et en proportion d'autant plus grande que l'alimentation est plus riche en matières féculentes et sucrées. Le fluide sanguin du cheval en contient ordinairement 0 gr. 150 p. 100.

6° L'*urée*, l'*acide hippurique*, la *créatine*, la *créatinine* et autres dérivés de l'albumine formant la série urique, pénètrent dans le sang en plus ou moins grande quantité, après avoir été formés dans les tissus par le fait du travail de la nutrition ou du fonctionnement de l'appareil musculaire.

7° Les *sels minéraux*, tels que le chlorure de sodium, le chlorure de potassium, les sulfates de soude et de potasse, les phosphates alcalins, les carbonates de soude, de chaux et de magnésie, etc., existent dans le plasma ou dans les globules à l'état de simple dissolution, ou en combinaison avec les matières protéiques ;

8° Des *gaz*, au nombre de trois (l'oxygène, l'acide carbonique et l'azote), en proportions différentes dans le sang veineux et dans le sang artériel. Gréhant, qui a examiné comparativement à ce point de vue le sang du cheval, a trouvé, sur 100 volumes :

	Sang artériel.	Sang veineux.
Acide carbonique	8.23	7.30
Oxygène	3.14	1.47
Azote	1.15	2.35
Mélange gazeux total	12.52	11.12

On voit que le sang artériel se distingue du sang veineux surtout par la plus forte proportion d'oxygène qu'il contient. La proportion d'acide carbonique est sensiblement la même dans les deux. Celle de l'oxygène est double dans le sang artériel. Le rôle des globules rouges et la marche de la circulation du sang donnent l'explication de ce fait.

En traversant les capillaires du poumon, le sang veineux

perd de l'acide carbonique, et ses globules rouges prennent de l'oxygène, qu'ils perdent ensuite en partie dans leur passage à travers les capillaires de la circulation générale. L'oxydation de l'hémoglobine dans le poumon lui fait acquérir la coloration rouge rutilant qui caractérise physiquement le sang artériel. C'est le phénomène anciennement connu sous le nom d'hématose, et qui n'a sûrement point la signification qu'on lui accordait, puisque l'oxyde de carbone, qui a une action toxique, le produit comme l'oxygène, et peut-être même à un degré encore plus élevé.

On comprend facilement, d'après ce que nous avons dit dans ce chapitre, que la richesse du sang en oxygène soit proportionnelle à sa richesse en globules rouges. Elle est donc nécessairement très variable, et elle mesure l'intensité des actions nutritives de toute sorte.

Quant à sa richesse en acide carbonique, elle dépend de l'intensité de ces mêmes actions et des facilités de l'élimination, qui varient aussi suivant une foule de circonstances.

Comme il n'y a aucun rapport fixe entre l'introduction de l'oxygène et l'élimination de l'acide carbonique dans l'accomplissement des phénomènes respiratoires, la première étant affaire de combinaison avec l'hémoglobine et la seconde une simple diffusion dans l'atmosphère ambiante, on comprend parfaitement que les proportions des deux gaz dans la masse sanguine n'aient rien de constant, et qu'on puisse trouver entre elles des différences parfois considérables.

Le sang est le siège de continuels échanges entre ses matériaux et ceux des éléments anatomiques des tissus. Sa composition est donc extrêmement variable. Le contenu d'un vaisseau n'est jamais complètement identique à celui d'un autre vaisseau ; il ne l'est même pas, dans un seul et même vaisseau, à de faibles distances. C'est pourquoi nous

prions nos lecteurs de ne pas prendre à la lettre les quelques chiffres que nous avons donnés dans les pages qui précèdent.

La quantité totale du sang varie entre 0,02 et 0,07 du poids du corps.

§ 4. — Nutrition et sécrétions.

Pour bien comprendre les phénomènes chimiques de nutritien et de sécrétion qui se passent dans l'économie animale, il convient de considérer chaque élément anatomique ou chaque cellule de l'organisme comme un individu parfaitement distinct. L'organisme entier n'est pas autre chose qu'une association de cellules groupées d'après un type conforme à la loi de l'espèce, et toujours solidaires quel que soit ce type. L'association est plus ou moins nombreuse, plus ou moins complexe, suivant le degré qu'occupe le type sur l'échelle de l'organisation.

Chacun de ces individus cellulaires jouit de tous les attributs de l'être vivant. Il naît du fait de la scission, de la fissiparité ou de la gemmiparité du noyau ; il se développe en accroissant son protoplasma ; il s'entretient en renouvelant son sarcode ; il se reproduit conformément à l'un des modes de division du noyau que nous venons de signaler, puis il dépérit progressivement et meurt.

Pour accomplir son évolution, il reçoit du sang tous les matériaux qui lui sont nécessaires. Ceux-ci, provenant des éléments nutritifs fournis à la digestion par les aliments, sont introduits par l'osmose intestinale dans l'appareil circulatoire, qui les répand dans toutes les parties du corps. Arrivés dans le réseau capillaire des organes, ils transsudent au travers des parois de ces vaisseaux, et se mettent en contact avec les éléments anatomiques de l'organisme. La plastide ou masse protoplasmatique, qui forme la base

de ces derniers, s'empare des matières colloïdes nécessaires à son accroissement ou à sa reconstitution partielle, et rejette dans la circulation générale les substances cristalloïdes résultant de son travail intérieur. D'après les recherches de Berthelot, ce travail cellulaire a pour conséquence une mutation de matière, un nouveau groupement de molécules, produisant une certaine quantité d'*énergie actuelle* ou de *force de tension*. (Voir page 91.)

Le mouvement en vertu duquel le protoplasma cellulaire s'approprie les matériaux de sa constitution, en les empruntant au plasma sanguin, est connu sous le nom d'*assimilation;* le mouvement inverse par lequel les matériaux usés repassent dans le sang pour être éliminés est appelé *désassimilation*. Ces termes généraux ne donnent pas une idée suffisante des faits. L'état actuel de la science nous permet de pénétrer plus avant dans la connaissance des échanges d'éléments qui s'opèrent.

Considéré d'une manière générale, le double mouvement dont il vient d'être parlé, et duquel dépendent aussi bien la nutrition proprement dite que les sécrétions, est régi par deux grandes lois : celle de la forme et celle de la composition. Par la première, chaque élément histologique de l'organisme conserve sa configuration particulière, son individualité propre, son type primitif et sa texture invariable. Par la seconde, le protaplasma cellulaire se détruit et se renouvelle perpétuellement. C'est précisément cet échange incessant de matières, ces mouvements intimes que lui seul est capable de communiquer, qui fournissent la caractéristique essentielle du sarcode, car, ainsi que nous l'avons déjà vu, c'est en cela même que consiste la vie.

Parmi les principes immédiats dont les organes sont constitués, les uns sont communs aux animaux et aux végétaux et se trouvent ainsi tout formés dans le sang qui les a reçus des aliments; de ce nombre, sont l'albumine, la

fibrine, les matières grasses, la dextrine animale ou glycogène, le glucose et les matières minérales. Toutes ces substances pénètrent dans la cellule organique à la faveur des mouvements amiboïdes de son protoplasma, qui possède la faculté de se mouvoir en tous sens et d'émettre des prolongements ayant pour but d'englober les matériaux nutritifs déposés par le plasma sanguin au milieu de la trame des tissus, et dans lequel le sarcode puise les provisions dont il a besoin. Toutefois, lorsque le protoplasma possède une enveloppe, il ne peut absorber que les matières diffusibles susceptibles de traverser la membrane qui l'entoure. En même temps qu'il reçoit des molécules nouvelles identiques à sa propre substance, il rejette les matières qu'il n'a pu assimiler et les éléments qui ont accompli leur fonction. Ces phénomènes de nutrition, dont l'activité est toujours proportiennelle à la richesse du sang, ont pour conséquence la reproduction cellulaire, l'accroissement de la cellule jeune et l'entretien de la cellule adulte.

Une autre catégorie de principes immédiats est le produit d'élaboration animale : les aliments, le plasma sanguin n'en fournissent que les matériaux. C'est dans leur fabrication que consistent les phénomènes de *sécrétion*, en vertu desquels les parois vésiculaires ou tubuleuses des glandes modifient, métamorphosent le protoplasma qui les pénètre, et élaborent à ses dépens des principes spéciaux qui, après s'être accumulés dans les cavités glandulaires, sont définitivement versés au dehors. C'est ainsi que l'albumine est transformée en ptyaline dans l'appareil sélecteur des glandes salivaires ; en chymosine dans les cellules pepsiques de l'estomac ; en ferment intestinal dans les glandes de Peyer, de Brunner et de Galeati ; en caséine dans l'épithélium sélecteur de la mamelle. C'est ainsi que le glucose est métamorphosé en lactose dans le même organe, et que sont élaborés tous les produits de sécrétion que des organes

particuliers fabriquent aux dépens des matériaux du sang, et dont le rejet est indispensable à la continuation de la vie.

Enfin, certains autres principes immédiats sont élaborés aussi bien par l'économie animale que par l'organisme végétal. De ce nombre sont les matières grasses qui proviennent en partie du plasma sanguin, où elles sont introduites par les aliments, dans lesquels elles ne manquent jamais. Pendant longtemps, on a cru que les animaux recevaient des végétaux toute la graisse qui se trouve dans leur tissu adipeux, et qu'ils étaient eux-mêmes dénués de la propriété de l'élaborer. Mais les expériences de Persoz et de Boussingault ont démontré d'une façon évidente la faculté que possède l'organisme des vertébrés de fabriquer des matières grasses en métamorphosant les autres principes immédiats nutritifs de la ration. Quels matériaux l'économie animale emploie-t-elle à cette fabrication? C'est là une question fort controversée encore.

En Allemagne, on admet presque généralement que les matières grasses accumulées dans l'organisme résultent de la décomposition de l'albumine du protoplasma cellulaire. Quant à la graisse qui provient de l'alimentation, elle serait détruite à mesure qu'elle pénètre dans le sang, pour l'entretien de la chaleur vitale. D'après les théories d'outre-Rhin, 100 parties d'albumine sarcodique produiraient en se dédoublant 51,4 de graisse, d'une part, et 48,6 d'urée, d'acide carbonique et d'eau, d'autre part. Züntz a réfuté cette théorie en se plaçant au point de vue de la thermodynamique. Il a établi que, si la formation de la graisse était le résultat de la décomposition de l'albumine, toute la force vive de cette dernière passerait dans la matière grasse élaborée à ses dépens, et qu'il n'en resterait plus pour produire les actions motrices intérieures, que beaucoup d'auteurs attribuent à la réaction. Mais, sans avoir recours à une argumentation de ce genre, il est facile de montrer l'impossibilité de la trans-

formation dont il s'agit, en se basant sur les calculs de Perzos et de Boussingault, lesquels ont prouvé que l'économie peut accumuler plus de graisse qu'elle ne reçoit de protéine brute dans son alimentation.

Dans l'état actuel de la chimie, on attribue, non sans raison, la formation des substances grasses dans l'organisme animal à un processus de synthèse aux dépens des hydrates de carbone fournis en si grande abondance par les aliments.

Quoi qu'il en soit, du reste, il est plus logique d'admettre que les glycérides et les acides constituants des corps gras dérivent des hydrates de carbone, à la série naturelle desquels ils appartiennent, que d'expliquer la formation de ces corps par des réductions invraisemblables de l'albumine.

Les phénomènes de calorification, dont nous allons maintenant nous occuper, fortifieront encore cette hypothèse.

CHAPITRE IV

CALORIFICATION

§ 1er. — Principes généraux.

Il y a, dans l'univers, une quantité déterminée de *matière* et une quantité déterminée d'*énergie*. Cette dernière, encore appelée force ou mouvement, étant l'attribut, la propriété nécessaire de la matière, il en résulte que toute mutation de celle-ci s'accompagne forcément d'une manifestation d'énergie sous l'un des aspects connus de chaleur, lumière, électricité, travail ou force mécanique. La science moderne montre qu'il y a identité de nature entre ces divers agents dynamiques, lesquels sont, par ce fait, réductibles les uns en les autres par voie d'équivalence.

Tous ces phénomènes thermiques, lumineux, électriques ou mécaniques sont essentiellement caractérisés par des mouvements vibratoires des dernières particules des corps, mesurables en les rapportant à des unités convenues, dont celles qui nous intéressent ici directement sont la *calorie* (1) et le *kilogrammètre* (2). Les calculs de Joule (3) ayant démontré que la calorie contient l'énergie nécessaire pour produire, en se transformant, un travail de 425 kilogrammètres, ou, en d'autres termes, que 425 unités de travail correspondent à une unité de chaleur, on considéra dès lors ce nombre de 425 comme l'*équivalent mécanique de la chaleur*.

L'agent qui préside aux phénomènes chimiques en vertu desquels la matière s'organise, se modifie et se détruit a sa source dans la radiation solaire. C'est en effet sous l'influence du calorique émis par l'astre lumineux que les végétaux créent, aux dépens des minéraux, les principes immédiats qu'ils livrent ensuite aux animaux; c'est encore sous la même influence que les éléments nutritifs, introduits dans le sang par l'osmose intestinal, éprouvent dans l'organisme vivant des métamorphoses plus complexes, dont la conséquence obligée est la production d'une plus grande quantité d'énergie. Le règne végétal est donc l'intermédiaire entre la matière inorganique ayant une capacité calo-

(1) La calorie est la quantité de chaleur nécessaire pour élever de 1 degré centigrade la température de 1 kilogramme d'eau.

(2) Le kilogrammètre est la quantité de travail nécessaire pour élever à la hauteur de 1 mètre, en une seconde de temps, le poids de 1 kilogramme.

(3) D'après les recherches de ce célèbre physicien anglais, un poids de 1 kilogramme, tombant de 421 mètres, frappe le sol avec une énergie telle que la chaleur qui en résulte pourrait élever de 1 degré centigrade la température de 1 kilogramme d'eau. Réciproquement, si l'on employait cette chaleur à produire un effet dynamique, on pourrait élever à 425 mètres de hauteur un poids de 1 kilogramme.

rifique déterminée et la substance vivante capable de développer un travail mécanique mesurable au dynamomètre.

L'énergie dont disposent les animaux est donc toujours de source extérieure. Elle leur vient des aliments, qui l'ont empruntée à la source commune, c'est-à-dire à la chaleur dégagée par le soleil. Tout ce qui pénètre dans l'organisme se retrouve tôt ou tard sous un mode quelconque : tantôt sous l'aspect de déjections solides, liquides ou gazeuses; tantôt sous forme d'accroissement du poids du corps ; tantôt sous celle de chaleur appréciable au calorimètre, ou d'énergie produisant du travail mécanique. Plus est abondante la quantité de substances alimentaires ingérées par la machine, ou, plutôt, plus est considérable la proportion digérée, plus cette machine accumule d'énergie et plus elle est apte à dépenser de force à notre profit.

L'énergie qui se manifeste sous forme de chaleur et de lumière est dite *énergie actuelle* ou *force vive* ; celle qui peut déplacer les corps dans l'espace, produire du travail moteur ou du travail chimique, changer la situation des éléments moléculaires réagissant les uns sur les autres pour former des combinaisons nouvelles, est appelée *énergie potentielle, force de tension, affinité chimique*. Ces deux énergies se transforment par équivalence. La chaleur donne du travail et le travail produit de la chaleur.

Berthelot nous a montré dans ses *Nouvelles recherches thermochimiques* que les combinaisons moléculaires se divisent à cet égard en deux groupes distincts.

Le premier comprend celles dans la formation desquelles les corps simples se combinent avec dégagement de chaleur, en produisant un travail positif et en occasionnant, par conséquent, une perte d'énergie actuelle ou de force vive. A ce groupe appartiennent les combinaisons directes de l'oxygène respiratoire avec le carbone, l'hydrogène, le phosphore et les métaux, celles des acides avec les bases, etc.

Le second groupe comprend les combinaisons des corps composés qui mettent de l'énergie actuelle en liberté, en donnant lieu à une consommation de travail correspondant à une absorption de chaleur. Nous verrons plus loin que, dans les réactions chimiques des cellules de l'organisme, ce sont seulement ces dernières combinaisons qui peuvent se former et que l'énergie qui en résulte est en partie absorbée par les travaux extérieurs effectués par l'être vivant.

§ 2. — Chaleur animale.

Les phénomènes chimiques qui se passent dans l'organisme ont donc pour résultat une production d'énergie qui alimente le travail extérieur de la machine et un dégagement calorique qui rend la température du corps à peu près indépendante de celle des milieux. C'est là ce qu'on appelle la *chaleur animale*.

Celle du cheval est pour ainsi dire uniforme ; elle oscille, dit Collin, entre 37°,5 et 38°. La température de l'atmosphère dans laquelle il vit s'abaisse parfois, dans nos climats, jusqu'à 10, 15 et même 20° au-dessous de zéro. Pour réparer les pertes causées par le fonctionnement des organes et par le rayonnement qui s'opère à la surface du corps, cet animal doit donc disposer d'une source de chaleur sans cesse renouvelée, afin de ne pas subir le refroidissement incompatible avec la conservation de la vie.

L'expérimentation physiologique démontre, en effet, que le travail chimique de l'organisme développe environ 42 à 45 calories par kilogramme de poids vif et par jour, soit une production journalière de 16,800 à 18,000 calories pour un cheval de 400 kilos. On admet que 60 à 75 centièmes de cette somme sont employés pour couvrir les déperditions dues au rayonnement ; que 20 à 30 centièmes servent à l'évaporation des liquides ; 4 à 8 centièmes à l'échauffement

de l'air inspiré ; enfin 2 à 4 centièmes à celui des boissons et des aliments ingérés. La perte totale varierait donc entre 12,177 et 12,945 calories. Le reste de la production (4,623 ou 5,055 calories), accumulé dans l'organisme pour être transformé ou non en kilogrammètres, serait employé mi-partie pour les besoins du travail intérieur de l'organisme, respiration, circulation, digestion, sustentation et mouvements naturels de l'animal non exploité, et mi-partie (2,311 ou 2,527 calories) à fournir du travail extérieur et du travail utile.

L'origine de la chaleur vitale a été si diversement expliquée, que nous pensons être agréable à nos lecteurs en leur exposant brièvement ici ce qui a été dit sur cette question. Au surplus, cette digression leur permettra de nous suivre plus aisément dans nos développements ultérieurs.

§ 3. — Sources de la chaleur animale.

Théories diverses. — Les anciens, qui n'avaient aucune idées des actions chimiques, croyaient que la chaleur vitale était innée (*callidum innatum*) et qu'elle avait son point de départ dans le cœur. A l'époque de Van Helmont et de Sylvius, on l'attribua vaguement à des phénomènes chimiques dont on ne pouvait préciser la nature. Plus tard, Boerhaave, Hales, Borelli exposèrent qu'elle était le résultat d'actions mécaniques, et, tout particulièrement, du frottement du sang contre les parois vasculaires. Les iatros-mécaniciens, s'appuyant sur ce fait que le mouvement musculaire général élève la température de la plupart des organes, émirent l'idée que la chaleur animale était due aux frottements des tendons sur les poulies osseuses. Bichat invoquait comme source de ce phénomène le passage de l'état liquide à l'état solide des éléments du sang dans la nutrition. Brodie fit jouer, non sans raison, un rôle important à l'en-

céphale dans la production de la chaleur vitale. Chossat plaçait son foyer dans le système du grand sympathique. Hastings et Wilson admirent qu'elle était produite par une fonction à laquelle concouraient tous les tissus : *fonction de calorification*. Chaussier, enfin, en fit une propriété primitive de l'organisme : *caloricité*.

Ces conceptions diverses, aujourd'hui réfutées, ne méritent pas de fixer plus longtemps l'attention ; aussi nous contentons-nous de les énumérer. Mais avant d'expliquer les raisons qui nous font adopter la manière de voir de Berthelot, il semble que nous devons reproduire avec quelques détails l'hypothèse de Lavoisier, qui resta longtemps en vogue ; celle de Lagrange, Crawfort, Spallanzani, etc., qui fit également école ; enfin celle de Frankland, Voigt, Fick, Vislicenus et autres, que certains physiologistes invoquent encore.

Théorie de la combustion pulmonaire. — Après avoir rapporté la production de la chaleur vitale aux phénomènes de la respiration, Lavoisier, en 1783, considéra le poumon comme un foyer de combustion dans lequel l'oxygène de l'air, en se combinant avec l'hydrogène et le carbone du sang, produisait l'acide carbonique et l'eau qui s'éliminent par les voies respiratoires et dégageait la chaleur qui entretient la température animale. A l'aide de son calorimètre à glace, il crut reconnaître que la combustion du carbone donne les 96 centièmes de la somme de calorique perdue par le rayonnement, ainsi que par l'évaporation des produits de la peau et de la muqueuse pulmonaire ; enfin il établit que la combustion d'une certaine quantité d'hydrogène fournit le reste de la chaleur.

Cette ingénieuse et séduisante théorie, qui ouvrit un si vaste horizon à la physiologie et qui fut si longtemps admise sans conteste, tomba en discrédit lorsque le rôle du poumon dans la respiration fut mieux connu. Plus tard, la découverte de l'hémoglobine et de sa fonction par rapport à

l'oxygène et enfin la constatation par Claude Bernard (1) de ce fait que le sang, en traversant le poumon, perd de sa chaleur au lieu de s'y réchauffer firent définitivement renoncer à la théorie de la *combustion pulmonaire.*

Théorie de la combustion respiratoire. — Lagrange, Crawfort et Spallanzani furent les premiers physiologistes qui s'inscrivirent en faux contre l'opinion de Lavoisier, en démontrant que le poumon était seulement le siège de l'absorption de l'oxygène et du dégagement de l'acide carbonique, et que les combustions d'où dérive la chaleur animale avaient lieu dans les capillaires généraux. Ces savants admirent qu'au lieu de se passer uniquement dans le tissu pulmonaire, l'oxydation se produisait dans tous les organes où l'oxygène était porté par les globules rouges. En somme, l'idée fondamentale de l'immortel fondateur de la chimie moderne restait intacte. La chaleur animale avait toujours sa source dans la combustion du carbone et de l'hydrogène; seulement, l'appareil circulatoire, auquel on fit jouer le rôle d'une sorte de calorifère à eau chaude et à courant continu, portant la chaleur partout où il pénètre, remplaça le poumon comme foyer de dégagement du calorique.

Rien de plus facile, croyait-on, que de mesurer d'après cela les quantités de chaleur dégagées par un organisme vivant. Supposant que la production de l'acide carbonique et celle de l'eau, éliminés par l'économie, engendraient la même somme de calorique que si elles avaient eu lieu au moyen du carbone, de l'hydrogène et de l'oxygène *libres*, il suffisait de tenir compte de la quantité d'oxygène absorbée, puis de celle d'acide carbonique et d'eau formée dans la respiration. Mais, si l'on considère que les phénomènes

(1) Claude Bernard a prouvé que le sang, en traversant le poumon, perd précisément la quantité de chaleur nécessaire pour amener l'oxygène inspiré au niveau de la température du corps.

calorifiques de l'organisme diffèrent essentiellement de ceux qui se passent dans un creuset, on est forcé d'admettre qu'il n'y a aucun rapport entre la quantité de calorique produite par l'oxydation du carbone et de l'hydrogène *libres*, et celle qu'aurait fournie la prétendue combustion d'où résulteraient l'acide carbonique et l'eau éliminés par l'économie.

Ce qui montre encore mieux l'erreur d'interprétation commise par les auteurs de cette théorie, c'est que l'introduction de l'oxygène et l'élimination de l'acide carbonique, dans l'accomplissement des phénomènes de la respiration, n'ont aucune relation nécessaire. La première dépend de la température, de la pression, de la richesse du sang en hémoglobine et du nombre des mouvements respiratoires, c'est-à-dire de la fréquence de renouvellement du mélange gazeux contenu dans le poumon. La deuxième est sous la dépendance du travail des éléments anatomiques, travail chimique de nutrition ou travail musculaire. L'exécution de ces deux actes physiologiques ne tenant pas aux mêmes causes, on partait donc d'une hypothèse inexacte en se basant sur leur problématique corrélation pour évaluer la quantité de chaleur dégagée par un organisme.

Théorie de la combustion organique. — Plus récemment, des savants français, allemands et anglais firent observer que l'économie ne brûlait ni carbone ni hydrogène en nature, mais bien de la graisse, du sucre, de l'albumine, de la fibrine, etc., et que la combustion directe de ces corps composés produisait plus de chaleur que la combustion isolée de leurs composants : carbone et hydrogène. On fit alors de nombreuses recherches pour déterminer exactement les chaleurs de combustion des substances qui composent la machine animale et l'on se basa sur les résultats obtenus pour calculer les quantités de chaleur fournies par l'être

vivant. Frankland, entre autres, fit à ce sujet d'intéressantes études qui méritent d'être rapportées.

D'après ce savant,

1 gr. de chair (dégraissée par l'éther)	donne en brûlant	4,368	calories.
— d'albumine	—	4,268	—
— de graisse	—	9,060	—
— d'acide urique	—	2,615	—
— d'urée	—	2,206	—

Cependant, cette théorie ne satisfait pas mieux que les précédentes, puisqu'elle attribue le dégagement de la chaleur vitale à une *combustion organique* analogue à celle qui se produit dans la machine à feu. Si les choses se passaient ainsi que l'enseigne cette doctrine, la formation et l'accumulation de la graisse dans l'organisme devraient être inversement proportionnelles à l'intensité de ces combustions organiques, qui, elles-mêmes, seraient directement en rapport avec la quantité d'oxygène introduite. Or, il a été démontré que c'est tout le contraire qui a lieu.

En effet, M. Regnard (1), professeur à l'Institut agronomique, après s'être assuré que les animaux qui s'engraissent le mieux sont ceux dont le sang contient le plus de globules rouges, a démontré que les fonctions respiratoires de ces animaux sont beaucoup plus actives que chez les autres, à cause de la richesse de leur fluide sanguin en hémoglobine. Cela étant, il est clair que les matériaux combustibles ne sont pas oxydés à mesure de leur introduction dans le sang, puisque les sujets chez lesquels les prétendues combustions organiques devraient être les plus actives sont précisément ceux qui accumulent le plus de graisse formée aux dépens de ces matériaux.

Théorie de Berthelot. — Ce chimiste éminent nous fait

(1) Recherches sur la capacité respiratoire du sang chez les animaux gras. (*Annales de l'Institut agronomique,* année 1879.)

remarquer, tout d'abord, qu'il n'y a aucune analogie entre la combustion du carbone et de l'hydrogène qui s'effectue dans un foyer, et la destruction des matières hydrocarbonées au sein de l'organisme ; que les animaux introduisent dans leur corps, sous forme d'aliments, des principes organiques très divers et très complexes, et dans lesquels l'état de combinaison des éléments est plus ou moins avancé ; que, d'autre part, ils ne rejettent pas seulement de l'acide carbonique et de l'eau, mais aussi de l'urée et différents autres produits excrémentitiels.

Il démontre ensuite que les phénomènes chimiques de l'économie ne sont pas seulement de l'ordre des réductions ou oxydations ; qu'il s'y passe également des synthèses, des dédoublements, des hydratations, des déshydratations, et que, parmi ces processus, les uns s'accomplissent avec dégagement de chaleur, les autres avec absorption. Ces derniers phénomènes, complètement négligés par les physiologistes dans leurs calculs sur la chaleur animale, semblent avoir au contraire la plus grande importance.

L'explication de ce fait est d'ailleurs facile à donner pour peu qu'on réfléchisse à la composition immédiate des aliments. Ceux-ci se rapportent, en effet, à trois catégories distinctes : 1° les substances grasses, ; 2° les hydrates de carbone ; 3° les principes albuminoïdes. Or, les matières albuminoïdes, d'origine végétale, sont des amides et, comme tels, peuvent dégager de la chaleur lors de leur hydratation avec dédoublement ou de leurs déshydratations avec combinaison (1). Les hydrates de carbone, les sucres et les matières analogues produisent du calorique par leurs seuls dédoublements, indépendamment de toute oxydation. En-

(1) Lorsque, par la simple hydratation, les matières albuminoïdes se transforment en peptones dans l'estomac, il se dégage manifestement de la chaleur.

fin, les corps gras neutres donnent aussi de la chaleur en se dédoublant et par la simple hydratation (1).

Par conséquent, on doit donc conclure avec l'illustre savant à qui nous empruntons ces détails que « la chaleur développée par un être vivant, pendant une période quelconque de son existence, accomplie sans le concours d'aucune énergie étrangère à celle de ses aliments (oxygène et eau compris), est égale à la chaleur produite par les métamorphoses chimiques des principes immédiats de ses tissus et de ses aliments, diminuée de la chaleur absorbée par les travaux extérieurs effectués par la machine animale (2) ».

En résumé, nous savons aujourd'hui que la chaleur dont disposent les êtres vivants est apportée du dehors par les aliments ; de plus, l'état actuel de la science nous permet de supposer que la destruction des principes infiniment complexes que renferment ces matières est, sinon l'unique source, du moins la source principale du dégagement de cette chaleur, dont l'intensité est en rapport avec la rapidité de cette destruction.

Maintenant, faut-il admettre, avec Frankland, Pettenkofer, Voigt, etc., que les albuminates ne servent qu'à la construction, à l'entretien, à la réparation de la machine, et que les hydrates de carbone alimentent seuls la source de la chaleur vitale ? Au contraire, faut-il conclure, avec Liebig, Wolf, Kelluer, etc., que les substances azotées ont dans l'accomplissement de ce phénomène une part prépondérante ?

Jusqu'à ces derniers temps, le rôle des principes amylacés, dans la production de la chaleur vitale, semblait être

(1) Ce fait se produit sans aucun doute sous l'influence de l'action du suc pancréatique sur les graisses.

(2) Recherches thermochimiques publiées dans la *Revue scientifique de la France et de l'étranger*, 5 juillet 1879.

définitivement relégué au dernier rang, quand de nouvelles recherches faites sur ce sujet par MM. Müntz, Grandeau, Leclerc, et confirmées tout récemment par celles de MM. Chauveau et Kauffmann, remirent en question l'importance attribuée aux matières albuminoïdes dans le dégagement de cette chaleur.

L'éminent inspecteur des écoles vétérinaires ayant démontré que la glycose produite dans la glande hépatique se détruit en partie dans les capillaires de la circulation générale, là précisément où s'effectuent « les combustions thermogéniques les plus actives », supposa que cette glycose devait entrer pour beaucoup dans la calorification animale. Il chercha à prouver expérimentalement cette déduction en montrant que l'oxygène consommé et l'acide carbonique produit par un organe, dans un temps donné, étaient directement en rapport avec la glycose détruite durant le même temps.

Mais cette coïncidence, dont on a tiré cette conclusion « que la destruction de la glycose dans les capillaires généraux est en raison directe de l'activité thermogénique de l'organisme », n'a pas dans l'espèce la valeur qu'on lui prête, puisque, d'après Berthelot, l'absorption de l'oxygène et l'élimination de l'acide carbonique ne donnent nullement la mesure de la chaleur engendrée par l'économie. Au surplus, cette relation ne prouve pas que l'activité thermogénique d'un être vivant soit principalement entretenue par la destruction de ladite glycose, pas plus du reste que par celle des autres substances hydrocarbonées.

Quant à nous, nous pensons, comme notre savant maître Sanson, que les matières azotées ont une importance capitale dans la production de la chaleur vitale, puisqu'il a été démontré par Crevat que les dédoublements et les hydratations qui s'effectuent au sein des matières albuminoïdes, de la fibrine en particulier, dégagent finalement un quantum de

chaleur plus grand que la décomposition des substances hydrocarbonées. Rappelons, toutefois, que, pour présenter toute leur puissance calorifique, les substances albuminoïdes doivent être accompagnées de tous les autres principes immédiats, et que les hydrates de carbone, les matières grasses et la cellulose jeune ont certainement aussi une part encore indéterminée dans la calorification.

Pour terminer ce sujet, élucidons une question.

Le système nerveux exerce-t-il une influence sur la production du calorique? Evidemment oui. C'est lui, en effet, qui préside les phénomènes de catalyse et qui tient sous sa dépendance l'activité trophique, même la plus intime. On sait, du reste, que l'hyperthermie est due à son excitation et l'hypothermie à sa dépression. Les belles recherches de Ch. Richet ne laissent aucun doute à cet égard.

CHAPITRE V

TRAVAIL MUSCULAIRE

§ 1er. — Contraction musculaire.

Anatomie du tissu musculaire (1). — Les muscles striés ou muscles de la vie de relation, les seuls qui constituent les puissances motrices des animaux, sont formés de *faisceaux visibles à l'œil nu* et unis entre eux par du tissu conjonctif, mince, délicat, composant le *périmisium*.

Chacun d'eux se divise en *faisceaux primitifs* ou *fibres musculaires*, striés en travers et présentant, en outre, des lignes longitudinales, indice des éléments qui entrent dans

(1) Un coup d'œil sur la structure anatomique du tissu musculaire rendra plus clair l'exposé des doctrines que nous allons passer en revue dans ce chapitre.

leur composition. Ces faisceaux, unis parallèlement par du tissu cellulaire d'une extrême délicatesse, se terminent par des extrémités effilées, à l'aide desquelles ils s'accolent et se juxtaposent bout à bout, de manière à former des faisceaux secondaires plus ou moins allongés (1). Leur diamètre, variable selon les muscles considérés, est en moyenne de 50 μ. Leur longueur ne dépasse pas 4 centimètres chez le cheval.

Ils se composent :

1° D'une *enveloppe cylindrique,* mince, hyaline, remarquablement élastique et beaucoup plus résistante que la substance contractile sur laquelle elle s'applique. Cette membrane, appelée *sarcolemme* ou *myolemme*, se prête largement à la traction et se plisse en travers pendant le raccourcissement du faisceau ;

2° De *noyaux* nombreux, ovalaires ou globuleux ; placés pour la plupart sous le sarcolemme ;

3° D'une *substance contractile* ou substance musculaire proprement dite, striée en deux sens différents et constituant la partie fondamentale du faisceau primitif.

La *striation longitudinale* est due à la présence de *fibrilles élémentaires*, qui, en s'accolant parallèlement les unes aux autres, composent le faisceau primitif. Ces fibrilles ne sont pas uniformément disséminées dans le faisceau. On les trouve groupées en fascicules, dits *cylindres primitifs*, séparés par de minces cloisons protoplasmatiques amorphes.

La *striation transversale* dépend de la présence de bandes parallèles, horizontales, alternativement claires et obscures, occupant toute la largeur du faisceau primitif. Ces bandes sont formées de *disques* aplatis, placés sur le même

(1) Ces faisceaux secondaires s'accolent et se juxtaposent à leur tour pour constituer les corps charnus qu'on étudie en anatomie descriptive.

niveau dans l'ensemble des fibrilles d'un même faisceau et superposés les uns sur les autres dans la même fibrille.

Les parties obscures encore, appelées *disques épais*, *disques larges*, *disques de Bowman*, sont plus longues et beaucoup plus résistantes aux agents chimiques que les *disques clairs*. Ceux-ci sont partagés dans leur milieu par une ligne transversale foncée, que Ranvier a nommée *disque mince*.

Il résulte des nombreuses recherches entreprises en ces derniers temps sur les muscles des insectes que la fibrille musculaire est la partie essentielle du faisceau primitif, tandis que le disque de Bowman n'en est qu'un produit artificiel, résultant d'une désagrégation commençante d'une modification chimique de la substance contractile. D'où il suit que la fibre musculaire doit être considérée comme un faisceau de fibrilles et non comme une pile de segments obscurs ou de *sarcous-éléments*.

Force excito-motrice. — Les mouvements qu'exécutent les animaux, pour suffire au travail que l'homme leur impose, sont déterminés par la contraction musculaire qui s'effectue sous l'influence d'une force, émanant des centres nerveux, où elle semble même susceptible de s'accumuler pour n'être employée qu'à certains moments donnés et que l'on désigue sous le nom de *force excito-motrice* ou *influx nerveux*.

Dans les mouvements producteurs de travail utile, les seuls dont nous ayons à nous occuper ici, la mise en action de cette force est provoquée par la volonté, et, des centres nerveux où elle se développe, elle est transmise avec une remarquable précision aux muscles chargés d'effectuer le mouvement commandé par l'intermédiaire des fibres motrices qui se distribuent dans ces organes.

La production de cet influx nerveux ne peut se faire d'une façon normale qu'autant que la substance où il prend naissance est dans un parfait état d'intégrité. Sa transmission

est également subordonnée à l'intégrité des nerfs qui la conduisent. Son élaboration, intimement liée à l'accomplissement des fonctions de nutrition dans les centres nerveux, est nécessairement suspendue par l'arrêt de la circulation qui porte dans l'encéphale l'oxygène et les matériaux indispensables aux mutations organiques. De même, son développement ne se fait dans les conditions physiologiques qu'autant que le sang contient une suffisante quantité de ces matériaux. Elle ne s'accomplit, d'ailleurs, qu'en provoquant une dépense d'éléments nutritifs qui appauvrit l'économie et en donnant naissance à des produits de dénutrition à éliminer, de sorte qu'après un temps plus ou moins long, les centres nerveux deviennent inaptes à produire la force excitomotrice suffisante pour assurer la continuation de la contraction musculaire dans des conditions véritablement physiologiques.

De ce fait, qui explique les pertes éprouvées par l'organisme sous l'influence du travail, découle la conséquence du repos nécessaire pour reconstituer la réserve d'influx nerveux épuisée par des contractions musculaires exagérées ou trop longtemps prolongées.

Mécanisme de la contraction musculaire. — La contraction, par laquelle le muscle transforme en travail la force vive ou la chaleur qu'il a emmagasinée, est essentiellement caractérisée par une augmentation transversale et par une dimition longitudinale des faisceaux primitifs qui le composent. Mais il règne une grande incertitude sur les modifications anatomiques auxquelles sont dus ces changements de forme.

Ainsi, Brücke pense que les disques de chaque fibrille sont composés d'éléments juxtaposés et superposés qu'il appelle *disdiaclastes*. Pour produire le raccourcissement, ces corps se déplaceraient latéralement et se déploieraient en largeur. Pour Ranvier, la contraction consisterait dans le chan-

gement de forme et de volume du disque épais, qui, de cylindrique ou d'allongé, deviendrait sphérique et plus court en abandonnant une partie du plasma qui l'imbibe. Ce dernier, se répandant sur les côtés, concourrait à l'augmentation de largeur de la fibrille et à son durcissement.

D'après Engelmann, une matière liquide formerait les espaces clairs de la fibrille. Au moment de la contraction, cette matière pénétrerait dans les disques épais; d'où augmentation du volume de ceux-ci et raccourcissement de la fibrille.

Krause suppose que les disques minces limitent des cases pleines d'un liquide au milieu duquel flotte le disque épais. Lors de la contraction, les disques minces se rapprocheraient et le liquide passerait sur les côtés du disque épais.

Raspail et Rouget considèrent la fibrille musculaire comme tordue sur elle-même à la façon des anciens élastiques de bretelles. Cette disposition serait, d'après eux, l'âme de la contraction musculaire, c'est-à-dire que l'allongement ou le raccourcissement du muscle serait déterminé par l'éloignement ou le rapprochement des tours de spire.

En somme, le seul fait acquis à la science, c'est le tassement des stries transversales du faisceau primitif pendant la contraction. Le reste ne constitue que des hypothèses plus ou moins ingénieuses, mais dont la démonstration est encore à faire.

Quant au mécanisme intime de ce phénomène, il semble aujourd'hui assez bien expliqué par la *théorie de l'onde musculaire* (1), émise par Aeby et confirmée depuis par Marey.

---

(1) Cette théorie est basée sur l'observation suivante : Si l'on excite le muscle sur l'une de ses extrémités seulement, le mouvement ondulatoire, le gonflement local produit par l'excitation, se propage plus ou moins rapidement de cette extrémité à l'autre. Quand on l'excite à la fois sur ses deux points extrêmes, les ondes se confondent et le raccourcissement se produit en même temps sur l'organe tout entier. Le

Le premier a vu que les contractions physiologiques sont dues à une série d'ondes qui se produisent le long de la fibre musculaire et qui ont pour effet d'augmenter son volume absolu. Ce fait, qui tient à ce que l'augmentation transversale de cette fibre surpasse sa diminution longitudinale, semblerait indiquer que la détente se produit dans le sens du diamètre des disques en diminuant leur épaisseur.

Marey, qui a poussé plus loin l'étude de cette question, assure que la vitesse de propagation de ces ondes dépend de *l'excitabilité musculaire,* plus communément appelée aujourd'hui *contractilité musculaire* (1), et qu'elle varie de 1 à 3 mètres par seconde. Il en conclut que la puissance totale du muscle est proportionnelle non seulemenl à son plus grand diamètre, c'est-à-dire au nombre de ses faisceaux, comme l'a établi Weber ; mais aussi que le travail qu'il est capable de développer en un temps donné est proportionnel également au nombre d'ondulations contractiles qui le parcourent durant ce même temps.

Phénomènes qui accompagnent la contraction musculaire. — Dans l'état de repos, les échanges moléculaires dont le muscle est le siège engendrent de la force, qui se manifeste uniquement sous forme de chaleur tendant simplement à maintenir la température normale du tissu musculaire. Lorque les puissances motrices entrent en action, les mutations intra-organiques deviennent plus actives et la température des organes en contraction s'élève en raison de la

même phénomène s'observe lorsque l'excitation porte directement sur le nerf moteur. C'est le dernier cas qui se trouve réalisé dans l'organisme lors des contractions physiologiques.

(1) C'est la propriété qui lui permet de passer, sous l'influence d'un excitant, de la forme de repos à celle de contraction. Dans l'organisme, le seul excitant physiologique du muscle est l'influx nerveux, qui commande précisément la marche des renflements musculaires en la régularisant.

plus grande quantité de chaleur qui est mise en liberté. Toutefois, quand la contraction musculaire a pour effet un travail extérieur entraînant une dépense de force, l'élévation de température qui se manifeste n'est pas directement en rapport avec la quantité d'éléments organiques transformés. Il y a une différence en moins qui représente la somme d'énergie employée à la production du travail. D'après la théorie de l'équivalent mécanique de la chaleur, cette différence serait de 425 calories pour chaque kilogrammètre produit sous forme de travail extérieur. On estime que la machine animale peut transformer, en effet mécanique, 18 à 20 p. 100 de la chaleur engendrée par la réaction intramusculaire; le reste de la force vive, 80 à 82 p. 100, accroîtrait la température des régions où la contraction se produit (1).

D'autres phénomènes particuliers sont la conséquence nécessaire de ceux que nous venons de rappeler. D'abord, la circulation s'accélère toujours dans les muscles dont les contractions sont énergiques ou fréquemment répétées. Cela est indispensable pour que le sang apporte dans le tissu musculaire l'oxygène et les principes plasmatiques suffisants. En outre, par suite de la suractivité imprimée aux réactions intra-cellulaires, il se forme dans le muscle une plus ou moins grande quantité de résidus qui mettent obstacle à la contraction, s'ils ne sont pas éliminés.

Les expériences de Ranke ont fait voir que l'accumulation de ces produits et spécialement la présence d'une notable quantité d'acide lactique font perdre au muscle la faculté de se contracter avant que sa réserve d'énergie soit épuisée. Elles montrent également qu'on restitue aux organes actifs du mouvement leurs propriétés primitives en chas-

(1) Nous verrons plus loin ce qu'il y a de vrai dans cette dernière proposition.

sant les substances qui ont pour effet de produire la *fatigue*, à l'aide d'une injection d'eau salée ou mieux de sérum sanguin frais et alcalin. La circulation agit d'une manière semblable, non seulement en débarrassant l'élément musculaire des déchets qu'il a formés, mais en lui apportant de nouvelles provisions de principes nutritifs et réparateurs (1).

De ce qui précède, il résulte que la puissance musculaire dépend à la fois de trois circonstances essentielles : l'influence nerveuse, qui la commande; le courant sanguin qui entraine les produits de désassimilation résultant des échanges effectués dans le tissu musculaire, et, enfin, le muscle lui-même qui fournit la force (2). Celui-ci, dit Sanson, ayant une capacité limitée et son fonctionnement ayant pour résultat une dépense en travail mécanique, doit avoir sa provision d'énergie renouvelée. C'est le renouvellement prompt et facile de cette provision qui caractérise surtout la puissance musculaire et qui mesure son développement, car elle dépend moins, en somme, du produit dynamométrique de l'effort considéré isolément que de la répétition fréquente et durable de cet effort.

Ajoutons que toutes les causes ayant pour résultat d'entretenir dans le muscle une circulation active et une innervation normale maintiennent ou augmentent sa contracti-

(1) Si l'on fait exécuter par un muscle détaché du corps et encore chaud une nombreuse série de contractions, il cesse bientôt d'obéir aux excitations électriques les plus violentes; il ne se contracte plus : *il est fatigué*. Si l'on a eu le soin préalable de conserver l'artère qui irrigue ce muscle et que par elle on fasse passer dans les capillaires un courant d'eau salée, il ne tarde pas à se contracter sous l'influence des plus faibles excitations. Il recouvre sa contractilité dès que les résidus de l'usure sont entraînés par le courant d'eau salée. Telle est l'expérience de Ranke.

(2) Ce fait a encore été démontré tout dernièrement par les belles recherches de Brown-Séquard, dont il a été rendu compte à l'Académie des sciences dans les séances des 18 octobre 1886 et 3 octobre 1887.

lité; parmi celles-ci, l'exercice modéré est certainement le plus remarquable.

§ 2. — Source de l'énergie.

La force, que le muscle dépense en se contractant sous l'influence de l'excitation nerveuse, n'est pas autre chose que de la chaleur introduite dans l'organisme par les aliments, accumulée dans le tissu musculaire et transformée en énergie potentielle selon son équivalent mécanique. Les détails dans lesquels nous sommes entrés en traitant de la calorification font déjà pressentir la nature des phénomènes chimiques auxquels il convient d'attribuer l'origine de cette chaleur transformée.

Ce n'est évidemment pas à ce qu'on a appelé la « combustion pulmonaire », c'est-à-dire à la combinaison directe de l'oxygène introduit dans le poumon avec les principes hydrocarbonés du plasma sanguin, puisque, en traversant l'organe où cette prétendue combustion est censée se produire, le sang perd de sa chaleur au lieu de s'y réchauffer. Ce n'est pas non plus ce qu'on a désigné plus tard sous les noms de « combustion respiratoire » et de « combustion organique », c'est-à-dire à la combinaison de l'oxygène de l'hémoglobine avec les principes plasmatiques contenus dans les capillaires généraux ou avec les éléments des organes, puisqu'il n'existe pas d'oxygène libre ou actif dans l'organisme vivant et que, par conséquent, la « combustion » de ces substances ne peut pas se produire.

En admettant même que de telles réactions fussent possibles, elles ne sauraient donner la mesure de l'énergie produite par l'économie, puisque, d'après Berthelot, les synthèses et les dédoublements dont les tissus vivants sont le siège dégagent aussi des quantités considérables de calori-

que sans absorption d'oxygène et élimination d'acide carbonique.

Malgré ces raisons majeures, Fiek, Wislicenus, Frankland, Traube et autres physiologistes admettent encore que l'énergie dégagée par la machine animale est le produit d'une combustion identique à celle qui se passe dans la machine à feu, et ils ont cru pouvoir identifier le fonctionnement de la première avec celui de la deuxième.

Ecoutez plutôt ce qu'ils disent à ce sujet :

« Le foyer de combustion de la machine vivante, alimenté par la nourriture et par l'oxygène inspiré, dégage, comme celui de la machine à vapeur, une quantité de calorique qui se transforme en travail selon son équivalent mécanique et des produits gazeux qui s'échappent par la cheminée pulmonaire. La combustion qui se produit dans l'une laisse un résidu sous forme de cendres ; les résidus de celle qui se passe dans l'autre sont expulsés sous forme de sécrétions et d'excrétions ».

De cette analogie, les conclusions suivantes ont été tirées, à savoir, « qu'en mesurant au calorimètre la chaleur dégagée par un organisme et en dosant les produits comburés, urée, acide carbonique, etc., on devait pouvoir calculer les variations ; de même qu'en rapprochant le calorique, produit du travail effectué, on était sûr de déterminer le rendement de la machine vivante ».

Des essais de calcul de ce genre ont conduit à constater que ce rendement serait neuf à dix fois supérieur à celui de la machine à feu de même force. Or une telle constatation est non seulement en complet désaccord avec les faits, mais encore l'hypothèse sur laquelle elle s'appuie est tout à fait inadmissible.

En effet, partant de ce théorème fondamental de la thermodynamique énoncé par Carnot, que « la chaleur qui se transmet d'un corps chaud à un corps froid peut seule, et en

partie seulement, se transformer en travail », et considérant, d'autre part, que toutes les parties de l'économie animale ont sensiblement la même température, on doit nécessairement admettre que la condition indispensable de la transformation de la chaleur en travail n'existe pas dans la machine vivante. On sait, en outre, que la contraction musculaire augmente la température du corps au lieu de la diminuer, comme cela devrait avoir lieu si une partie de la chaleur dégagée se transformait en travail. Pour toutes ces raisons; et quelle que fût d'ailleurs la source de la chaleur vitale, la calorimétrie ne pourrait donc pas donner la mesure du travail musculaire par voie d'équivalence.

Certes, toutes les causes des phénomènes naturels doivent se concevoir comme des actions mécaniques, si nous ne voulons pas désespérer de comprendre quelque chose à la philosophie de la nature. Mais de là à analyser les phénomènes de la vie au point de les comparer pleinement aux choses du monde inorganique, il y a loin ! En tous cas, le fonctionnement de l'organisme vivant différant essentiellement de celui de nos machines industrielles, les données de la mécanique pure ne sauraient être appliquées à la mécanique animale. Ce qu'il importe avant tout dans l'espèce, c'est de déterminer les conditions dans lesquelles s'effectue ce fonctionnement afin de pouvoir l'alimenter d'une façon rationnelle.

Occupons-nous, sans plus tarder, de cette question fondamentale.

Le travail musculaire a pour conséquence une consommation des substances albuminoïdes, des hydrates de carbone et des matières grasses de l'économie. Lorsque l'équation n'est pas satisfaite entre l'énergie dépensée et l'énergie introduite par les aliments, le corps diminue de poids et s'amaigrit. Les principes immédiats, ainsi détruits, s'éliminent principalement sous les deux formes d'acide carboni-

que et d'urée, dont les quantités sont exactement proportionnelles à l'énergie dépensée comme travail.

Certains physiologistes, Fick et Wislicenus notamment, ne partagent pas cette manière de voir au sujet de l'urée (1) et prétendent que la dépense de force n'augmenterait pas sa production. Mais les expériences sur lesquelles ils s'appuient ont été mal interprétées ; elles comportent, au surplus, de nombreuses causes d'erreur, au premier rang desquelles se trouve une trop courte durée. Plus tard, le docteur Parkes, en dosant l'urée d'une semaine, obtint des résultats contraires et prouva que, si l'excrétion de l'urée n'est pas immédiatement en raison du travail effectué, sa production augmente néanmoins avec ce travail, pour une alimentation déterminée. Tout récemment enfin, une recherche poursuivie durant une année sur un cheval par Kellner, dans des conditions d'exactitude rigoureuse, a montré avec une évidence complète la relation directe entre l'urée produite et le travail musculaire effectué. Ce physiologiste a constaté, en outre : 1° que l'augmentation du poids du corps coïncide toujours avec les diminutions corrélatives du travail et de l'urée, — l'alimentation restant la même bien entendu ; 2° que le poids vif n'éprouve aucune variation lorsque l'équation entre l'alimentation et l'urée se maintient dans ses limites normales.

Une semblable équation ne peut être établie pour les produits de la décomposition des hydrates de carbone et de la graisse, dont certains nous sont complètement inconnus. En admettant même, d'après l'hypothèse des combustions, que ce fût seulement de l'eau et de l'acide carbonique, on

(1) Wislicenus, et avec lui tous les adeptes de la doctrines des combustions, considère l'urée comme un produit de réduction, bien qu'elle n'ait jamais été obtenue d'une façon certaine par oxydation. La vérité est qu'on doit la considérer comme le produit ultime de la décomposition des albuminates dans l'économie.

n'en serait pas plus avancé, car il est démontré que ce dernier est également produit par la transformation des albuminoïdes en urée. Or comment déterminer la part d'acide carbonique résultant de la décomposition des albuminates et celle due à la transformation des hydrates de carbone et des graisses ? Cela est impossible. C'est même cette impossibilité qui montre le mieux l'erreur commise par ceux qui considèrent la combustion de la graisse et des hydrates de carbone comme l'unique source de la force musculaire et qui mesurent l'intensité de cette prétendue combustion en se basant sur la quantité d'acide carbonique éliminée.

Pourtant, on ne saurait nier la destruction de ces matières sous l'influence du travail intérieur ou extérieur de la machine animale. Par le fait de l'abstinence ou même d'une alimentation insuffisante, la réserve de graisse s'épuise et l'énergie qu'elle contient se consomme en travail à mesure des besoins. Au contraire, si le travail est nul ou à peu près et si l'apport est considérable, elle s'accumule dans l'économie, quelle que soit la richesse du sang en principe comburant (1). Conséquemment, il est bien certain que, pour n'être pas l'unique source de l'énergie potentielle ou mécanique manifestée dans l'organisme animal, les principes en question contribuent cependant à sa manifestation. S'ils ne sont pas comburés à mesure qu'ils se forment, comme le veulent les auteurs allemands, ils se détruisent néanmoins lorsque les besoins du travail musculaire l'exigent.

Comment alimentent-ils la source du travail? Comment participent-ils au dégagement de ce que les mécaniciens nomment maintenant le potentiel?

Les expériences de MM. Chauveau et Kauffmann sur la glycose ont montré que, pendant le repos, une partie de

(1) Régnard. Ouvrage cité.

cette matière se déshydrate et se transforme en glycogène en produisant de l'énergie qui s'accumule dans l'organisme, que, pendant le travail, le glycogène, précédemment formé, s'hydrate de nouveau et redevient glycose en dégageant de l'énergie qui se manifeste immédiatement en travail, avec celle produite par la glycose issue directement du sang.

De son côté, Berthelot nous a fait voir que les hydrates de carbone en général peuvent produire de l'énergie par leurs seuls dédoublements, indépendamment de toute oxydation, et que les corps gras neutres en dégagent aussi en se dédoublant et par simple hydratation.

Quant aux albuminoïdes, Gréhant, Crevat, Madrzejewski, Stintzinc, Sanson, etc., ont démontré qu'ils se dédoublent en produisant de l'énergie et de l'acide carbonique. La peuve qu'il ne peut être question ici d'oxydation du carbone ou de combustion, c'est que l'albumine du sérum, privée de tous ses gaz et laissée dans le vide à la température de 40° c., subit des réactions qui lui font perdre, avec un peu d'hydrogène et d'azote, des quantités considérables d'acide carbonique. Du reste, les produits solides de ces réactions effectuées dans le vide ne sont pas autre chose que des cristalloïdes, analogues sinon identiques à l'urée.

En tout cas, les recherches faites à ce sujet par M. Sanson (1) permettent de supposer que le dégagement de l'énergie dans la machine animale est dû, sinon en totalité, du moins pour la plus grande partie, à des phénomènes analogues à ceux qui se passent dans les fermentations proprement dites et qu'on attribue à l'activité des organismes cellulaires, dits ferments figurés. Les principes immédiats du plasma, en se dédoublant en présence des globules sanguins

(1) Mémoire sur la source du travail musculaire et sur les prétendues combustions respiratoires. (*Journal de la physiologie et de l'anatomie*, t. XIV, 1880).

et des éléments anatomiques, abandonnent de l'acide carbonique et probablement aussi divers composés inconnus qui empruntent l'oxygène à l'hémoglobine pour se constituer et cèdent leur énergie soit aux éléments musculaires, qui la manifestent ensuite sous forme de travail en se contractant, soit au sang lui-même pour l'entretien de la chaleur animale. Ces dissociations, ces mutations, effectuées avec le concours de l'oxygène et qui sont évidemment impossibles sans lui, dégagent des quantités d'énergie considérablement plus fortes que celles qui pourraient résulter des simples combustions et rendent ainsi compte des phénomènes calorifiques et mécaniques de l'organisme.

Il ne parait donc pas y avoir, dans l'économie animale, de véritables combustions ; en tout cas, il n'y a point de combinaison entre le carbone des principes immédiats et l'oxygène respiratoire, donnant de l'acide carbonique et dégageant de la chaleur qui serait la source du travail musculaire. L'acide carbonique du sang, du moins pour la majeure partie, se dégage comme tel de ses combinaisons organiques en même temps que l'énergie constituante de celles-ci, en tant qu'énergie mécanique. Cette dernière a sa source principalement dans les principes immédiats albuminoïdes, les moins combustibles de tous, mais aussi les plus complexes. La preuve qu'il en est bien ainsi, c'est que les récentes expériences exécutées au laboratoire de Grignon (1) ont démontré d'une façon incontestable que la capacité de travail de la machine animale est toujours directement proportionnelle à sa puissance digestive pour la protéine, qu'on a désignée avec raison sous le nom d'*aliment de force*.

Cette manière de voir qui satisfait tout aussi bien que la

(1) *Recueil de médecine vétérinaire*, 30 avril 1888.

doctrine des combustions aux exigences de la théorie dynamique de la chaleur a, sur cette doctrine, l'avantage de n'être pas en opposition avec le théorème de Carnot. D'après la théorie en question, le travail se transforme en son équivalent de chaleur, comme la chaleur se transforme en son équivalent de travail. La chaleur et le travail sont l'un et l'autre des modes de manifestations de la force vive ou énergie actuelle, dont tous les corps se montrent doués. Lorsque cette énergie se dégage par les réactions qui se passent dans les corps complexes de l'organisme animal, son mode de manifestation dépend des conditions qu'elle rencontre. Dans le système musculaire, elle est en tension comme elle serait dans un ressort bandé : c'est de l'énergie potentielle. Partout ailleurs, où elle est libre, sa présence se manifeste comme chaleur sensible en accroissement de température. Toute celle qui, dans le muscle, ne s'utilise pas en travail, devient libre de même et se manifeste en tant que chaleur.

C'est ainsi que les réactions, dont le protoplasma de toutes les cellules organiques est continuellement le siège, fournissent l'énergie qui entretient à la fois le travail musculaire et la chaleur animale indispensable à la continuation de la vie et que la machine vivante, en tant que machine motrice, utilisant directement toute son énergie, fonctionne avec une perfection que ne saurait atteindre la machine à feu.

§ 3. — Réparation des pertes causées par le dégagement de l'énergie.

Le dégagement de l'énergie ayant pour conséquence la destruction des éléments anatomiques de l'organisme, il en résulte que, si les pertes qu'il occasionne ne sont pas entièrement couvertes par la nutrition, le *poids de la machine diminue* proportionnellement à l'importance du déficit, son

fonctionnement se détraque et l'usure par épuisement arrive d'autant plus rapidement que ce déficit est plus grand. Au contraire, si l'alimentation subvient complètement aux besoins des travaux intérieurs et extérieurs de l'organisme, la machine conserve la plénitude de sa puissance et le *poids du corps reste invariable* ou se meut seulement dans la limite des écarts normaux.

La conservation du poids vif étant le critérium certain de la réparation complète des pertes causées par le fonctionnement de la machine animale motrice, rien n'est donc plus facile que de s'assurer par l'emploi de la balance si l'équation générale entre les recettes et les dépenses est ou n'est pas satisfaite. L'invariabilité du poids du corps dans le premier cas, la diminution de ce poids dans le second sont des documents indubitables.

Sachant que, pour assurer le bon entretien de la machine organisée, il suffit d'introduire dans son intérieur, sous forme d'aliments, une quantité d'énergie égale à celle qu'elle dépense, il nous reste à différencier ces pertes eu égard à leur origine et à indiquer les moyens de les combler. C'est ce que nous allons faire dans ce paragraphe.

Dans la machine vivante, fonctionnant à notre profit, les dépenses en énergie sont de deux sortes. Les unes se rapportent aux travaux intérieurs de l'organisme et à l'entretien de la chaleur animale. Elles ne sont pas mesurables directement. Mais nous avons vu, page 68, qu'il y est pourvu par l'aliment essentiel d'entretien dont la quotité a été exactement déterminée par une longue expérience (1).

Les autres, qui concernent le travail extérieur ou disponi-

(1) Pour les équidés adultes, cette quotité est, en matière sèche de bon foin de pré, de 1 p. 100 du poids du sujet à nourrir, soit 5 kilos de cette matière pour un cheval de 500 kilos.

ble, se mesurent au dynamomètre et se calculent en unités mécaniques, en kilogrammètres. Pour être en état de les couvrir sûrement, il importe de connaître la valeur des aliments sous le rapport de l'énergie qu'ils peuvent introduire dans la machine ; autrement dit, il importe de déterminer l'*équivalent mécanique des aliments.*

Une telle détermination exige au préalable celle des deux unités entre lesquelles la ration doit s'établir. L'unité mécanique est connue : on sait que c'est le kilogrammètre. L'unité alimentaire doit être définie à son tour, puisque la calorie, mesurant les chaleurs de combustion des principes immédiats des aliments, n'est pas de mise dans la machine animale. Il faut, en outre, que cette unité soit invariable et de même ordre que l'unité mécanique, sans quoi la relation ne serait point correcte.

M. Sanson, dont les travaux sur la matière nous ont été d'un grand secours pour la rédaction de ce mémoire, a tourné la difficulté en prenant pour unité alimentaire le kilogramme de protéine brute contenu dans une ration dont la relation nutritive fût convenablement appropriée à l'âge et à la puissance digestive de l'animal à nourrir. Ce kilogramme de protéine brute peut être accompagné de 3, 4 ou 5 kilos de substances non azotées nécessaires pour assurer sa plus grande valeur nutritive, plus de celles qui donnent à la ration son volume utile. Mais, en ce qui concerne le cheval adulte, l'expérience directe et l'observation ont montré que seule la ration 1 : 5 peut porter à son maximum de digestibilité l'alimentation de cet animal. En fait, l'unité alimentaire est donc représentée pour nous par une ration *complète* du poids de 6 kilos. Cette ration est rendue telle par la présence de la protéine et des autres matières nutritives qui la composent et qui toutes dégagent de l'énergie. Mais, comme la quantité dégagée reste toujours proportionnelle à la protéine digérée,

cette dernière donne donc la mesure aussi exacte que possible de l'énergie totale fournie par les aliments.

Par conséquent, il est bien entendu que c'est la protéine accompagnée comme nous venons de le dire, celle que Sanson appelle protéine alimentaire (1), c'est-à-dire la protéine digestible dans une proportion dépendant de la capacité de digestion du sujet qui la consomme, qui doit être considérée comme l'unité alimentaire dont nous allons déterminer le coefficient mécanique.

L'experience, aujourd'hui vérifiée sur une très grande échelle, a démontré qu'un cheval adulte dont l'entretien a été préalablement assuré peut, lorsqu'il a consommé cette unité alimentaire, composée de 1 kilogramme de protéine brute, plus 5 kilogrammes d'hydrates de carbone et de matières grasses, déployer un travail moteur de 1,600,000 kilogrammètres, sans que son poids initial ait varié. Son alimentation a ainsi fourni toute l'énergie nécessaire sans qu'il en doive être emprunté à sa propre substance. Il a été satisfait pleinement à l'égalité entre la recette et la dépense.

Ce nombre de 1,600,000 kilogrammètres peut donc être considéré comme l'équivalent mécanique du kilogramme de protéine alimentaire.

---

(1) Certains physiologistes, qui se sont évidemment laissés entraîner par l'analogie de ce qui concerne l'équivalent mécanique de la chaleur, ont pensé qu'il aurait mieux valu adopter pour unité la protéine digestible ou efficace, qui, à première vue, paraît seule fournir l'énergie dont il s'agit de déterminer l'équivalent. Mais il convient de faire observer que nous n'avons aucune commune mesure pour l'énergie que les éléments nutritifs dégagent dans l'organisme animal. Sur la digestibilité même de la protéine, nos données sont fort incertaines. Procéder de la sorte, ce serait donc introduire des causes d'erreur dans une matière où il n'y en a déjà que trop. De plus, nous ne sommes nullement sûrs que les hydrates de carbone ne doivent compter pour rien dans la somme de force vive fournie par les aliments. En prenant pour unité la protéine brute accompagnée comme nous venons de dire, M. Sanson n'entend parler que de son effet mécanique et laisse indéterminée la quantité d'énergie que peut fournir une telle alimentation.

Toute ration bien constituée, comme nous la déterminerons ultérieurement pour chaque arme, pourra conséquemment alimenter autant de fois cette quantité de travail qu'elle contiendra de kilogrammes de protéine brute.

Ainsi, la ration alimentaire pourra être exactement réglée d'après le travail exigé, de même que le travail exigible pourra être réglé d'après la ration alimentaire possible déterminée par l'appétit. En désignant par P la protéine brute de la ration, par T le travail, par E l'équivalent mécanique, le premier calcul sera exprimé par la formule $P = \frac{T}{E}$, et le second par $T = P \times E$.

Etant donné le rapport du poids de la protéine brute au poids total de la substance sèche de la ration, rien ne sera plus simple que de calculer ensuite, pour un poids connu de protéine, le poids de la ration nécessaire. Supposons que ce rapport soit 1 : 6 et que le poids de protéine brute nécessaire dans la ration de travail soit 1 kilogramme, $1 \times 6 = 6$ kilos sera le poids nécessaire de matière sèche alimentaire, d'une relation nutritive quelconque. Si, le rapport restant le même, le poids de protéine brute devient 900 grammes par exemple, $900 \times 6 = 5{,}400$ sont le poids de la ration.

Le travail des moteurs animés est fonction de l'effort musculaire moyen, de la vitesse de la marche et de sa durée. Il se calcule d'après la formule suivante, qui est son équation: $T = PE \times V \times S$, dans laquelle T désigne le travail, P le poids à déplacer, E le coefficient de l'effort ou du tirage, V la vitesse et S le temps en secondes.

La difficulté pratique est de déterminer la valeur de E. Elle ne peut l'être que par les essais dynamométriques directs. En leur absence, on est obligé de se contenter de l'analogie, en prenant pour point de comparaison des résultats antérieurs et en les interprétant le plus judicieusement possible. La science nous en fournit un certain nombre, parmi

lesquels nous reproduisons ici, à titre d'exemples, ceux empruntés au général Morin, comme s'appliquant aux cas les plus communs.

Ils sont consignés dans le tableau suivant :

ESPÈCE D'EMPLOI.	POIDS TRANSPORTÉ.	Vitesse ou chemin parcouru par seconde.	Effet utile par seconde exprimé en kilogrammètres.	DURÉE DE L'ACTION.	EFFORT MOYEN.	EFFET UTILE par jour exprimé en kilogrammètres.
	kil.	mètres	kil. m.	heures		
Un cheval attelé à une voiture chargée allant au pas.....	700	1.10	770	10	variable de 0,20 à 0,01 du poids transporté.	27.720.000
Un cheval attelé à une voiture chargée allant au trot....	350	2.20	770	4 1/2	*Id.*	12.474.000
Un cheval chargé sur le dos allant au pas............	120	1.10	132	10	1/20 du poids transporté.	4.752.000
Un cheval chargé sur le dos allant au trot............	80	2.20	176	7	1/10 *id.*	4.435.000

Si, à l'aide de ces données, nous voulons déterminer la quantité de protéine nécessaire à un cheval du poids de 400 kilos, par exemple, portant une charge de 80 kilogrammes (cavalier, armes, etc.) et travaillant trois heures par jour à l'allure du trot de $2^m,20$ par seconde, nous opérons ainsi (1) :

P (poids du cheval et de la charge) $480 \times$ E (effort moyen) $0,10 \times$ V (vitesse de l'allure) $2^m,20 \times$ S (temps en seconde) $10,800 = 1,140,480$ kilogr^{tres} équivalant à $\frac{1,140,480}{1,600,000} = 0^k,712$ de protéine alimentaire.

(1) Dans les conditions de la pratique, ce travail de trois heures s'effectue à différentes allures ; nous supposons ici qu'il est exécuté exclusivement au trot pour simplifier le calcul. Nous verrons d'ailleurs dans la deuxième partie de ce mémoire comment on évalue le travail total.

Toute machine animale motrice *dont l'entretien sera d'ailleurs assuré* conservera son poids en produisant cette quantité de travail, si son alimentation lui fournit 712 grammes de protéine digestible au maximum

---

DEUXIÈME PARTIE

Production et exploitation de la force motrice.

L'aptitude mécanique de la machine animale est en rapport avec sa capacité digestive.

CHAPITRE Ier

APTITUDE MÉCANIQUE DU CHEVAL

Le travail des moteurs animés n'avait été étudié jusqu'à ces derniers temps que par les mécaniciens purs, complètement étrangers aux notions de la physiologie animale, qui ne pouvaient, en conséquence, baser leurs études que sur la constatation empirique des résultats obtenus par l'exploitation courante de ces moteurs.

Aujourd'hui, grâce aux progrès récents des sciences biologiques, nous sommes en mesure de discuter et de calculer l'effet utile et le rendement de la machine vivante, comme le mécanicien discute et calcule l'effet utile et le rendement de la machine à feu, à laquelle on l'a assimilée, et qui n'en est d'ailleurs qu'une grossière imitation.

Lorsque Watt eut remplacé un cheval de première force, attelé à un manège et produisant un travail de 75 kilogrammètres à la seconde, par une machine d'une puissance égale

à celle de cet animal, les mécaniciens adoptèrent ce chiffre de 75 kilogrammètres comme unité pour l'évaluation de la force des machines et lui donnèrent le nom de *cheval-vapeur*. Cette unité représentait le maximum de la capacité mécanique du moteur animé et l'on n'admettait pas que cette capacité pût être dépassée, ni même atteinte par la moyenne des chevaux. Quelques physiciens supposèrent même que la puissance du cheval vivant est à celle du cheval-vapeur dans la proportion de $\frac{1}{5,5}$, c'est-à-dire que, pour faire fonctionner une machine ayant une puissance de 10 chevaux-vapeur, il faudrait employer 55 chevaux de force ordinaire.

Plus tard, les physiologistes réfutèrent la proposition des mécaniciens en montrant que le rendement du manège est un des moindres qu'on peut obtenir dans l'application de la force de traction des moteurs animés, et que le travail effectué par son intermédiaire est nécessairement un minimum, ne pouvant point donner la mesure exacte de l'effort moyen possible, ni de la capacité mécanique du cheval. Si le cheval que Watt a remplacé par une locomobile avait été attelé à une résistance directe au lieu de l'être à un manège, le résultat se fût montré tout différent.

L'observation journalière des faits montre suffisamment que l'effort extrême ou maximum du cheval peut aller jusqu'à l'égal de son poids et même au delà, et que cet effort extrême peut se renouveler un certain nombre de fois. L'animal qui franchit une barrière en liberté fait un effort égal à son poids. Celui qui saute portant un cavalier déploie, dans certains cas, un travail supérieur à son propre poids (1).

Mais ce n'est pas de l'effort maximum qu'il s'agit, c'est

(1) Supposons que le cheval et le cavalier pèsent 600 kilos, que la barrière ait une hauteur suffisante pour que le corps soit élevé à 1 mètre ; le travail déployé atteindra au moins 600 kilogrammètres.

du travail moyen disponible, c'est-à-dire du travail journalier, dont la durée varie selon les modes d'emploi de la force motrice. Les praticiens savent depuis longtemps que la journée effective d'un moteur animé fonctionnant au pas ne peut guère dépasser dix heures, et que celle du cheval travaillant au trot modéré est de quatre heures à quatre heures et demie au plus. Au delà de ces limites, la machine ne peut plus fournir un travail soutenu sans danger pour sa conservation.

Le rapprochement de ces deux faits montre que, dans l'appréciation du phénomène, il y a autre chose que la considération de l'effort dont le cheval est capable, d'après le nombre des fibres contractiles composant son système musculaire, et que l'effort moyen dépend en outre du potentiel, c'est-dire de l'alimentation de la source du travail. En effet, il a été établi dans la première partie de cet ouvrage que l'effort moyen maximum possible est déterminé à la fois par la constitution du mécanisme de la machine, ou mieux par le volume des organes musculaires, et par la puissance de son générateur de force, dépendant de l'aptitude digestive, qui marque la mesure de son alimentation.

C'est ce dont les mécaniciens n'avaient pas tenu compte dans l'évaluation de l'aptitude mécanique des moteurs animés, et c'est pourquoi les résultats qu'ils ont obtenus représentent, non pas la moyenne, mais bien le minimum de la force disponible des chevaux. Certes, on ne saurait suspecter l'exactitude des chiffres donnés par des expérimentatateurs comme Courtois, Navier, Rulmann, Morin et Poncelet; mais l'examen attentif des expériences exécutées par ces savants montrent que les chiffres en question (1) ne

(1) D'après Courtois, le travail moyen d'un cheval vigoureux employé pendant dix heures à l'allure lente serait de 2,568,000 kilogrammètres; d'après le général Morin, de 2,268,000; d'après Navier, de 2,168,000; d'après le général Poncelet, de 2,542,000; d'après Rulmann, de 2,362,000.

valent que pour les cas particuliers auxquels ils se rapportent.

Ainsi, nous savons que les généraux Morin et Poncelet ont opéré sur des chevaux d'artillerie dont la ration alimentaire était loin d'atteindre la limite de leur aptitude digestive. Ces chevaux ne pouvaient naturellement déployer qu'un effort moyen en rapport avec leur alimentation. Leur aliment de force journalier ne dépassait pas un poids de 4 kilogrammes en avoine, tandis que d'autres, qui ne pèsent pas plus qu'eux, en digèrent jusqu'à 8 à 10 kilos (1). Il est dès lors facile de comprendre pourquoi l'aptitude mécanique de ces chevaux d'artillerie ne s'est pas montrée plus élevée.

On possède aujourd'hui des centaines d'essais dynamométriques, exécutés par Fritz, de Zurich, desquels il résulte que l'effort moyen du cheval varie entre 98 et 213 kilogrammètres. De son côté, Sanson estime que les chevaux agricoles, travaillant la journée entière, effectuent un travail moteur utile d'au moins 3,000,000 de kilogrammètres.

En prenant pour moyenne ce nombre rond, on a ainsi un travail moyen de 83 kilogrammètres par seconde, supérieur par conséquent de 8 kilogrammètres à celui du cheval-vapeur, qui est de 75 kilogrammètres seulement.

Il y a donc lieu de rectifier la notion généralement admise par les mécaniciens, au sujet de la force disponible des chevaux ou du travail effectif qu'ils sont capables de déployer en moyenne. Ce travail est considéré comme étant de beaucoup inférieur à celui du cheval-vapeur, tandis qu'en réalité il lui est supérieur.

En ce qui concerne le cheval de troupe, il a été admis, d'après les recherches des généraux Morin et Poncelet, que

(1) Ceux des omnibus par exemple.

son effort moyen, à la seconde, est d'environ 66 kilogrammètres, ou un peu plus des 5/6 de l'unité mécanique admise. Mais, à l'époque où ces recherches furent faites, on ignorait que l'augmentation de la ration de cet animal se traduit par une augmentation de son aptitude mécanique, et, par conséquent, par un plus fort rendement en travail utile. On resterait donc bien en dessous de l'utilité possible, si l'on prenait les chiffres donnés par ces savants pour base de calcul dans l'évaluation du travail qu'on peut obtenir de nos chevaux. La vérité est que, si l'on utilise au maximum leur capacité digestive, — ce qui porte leur puissance mécanique au plus haut degré, — on peut en obtenir, d'après les calculs de Ellenberger (1), un travail journalier de 3 millions et demi de kilogrammètres, travail que ce savant estime être celui que ces animaux sont appelés à déployer en campagne.

CHAPITRE II

DÉCOMPOSITION DU TRAVAIL

Comme la locomotive, le cheval exécute son travail en se déplaçant lui-même ; c'est-à-dire qu'en changeant de place il entraîne sa charge avec lui, soit qu'il la porte sur le dos, soit qu'il la fasse rouler à la surface du sol. Ce travail se compose de plusieurs parties, dont le travail effectif ou utile n'est pas toujours la principale.

Il y a d'abord le *travail intérieur*, celui qui se déploie pour mouvoir le sang, pour dilater et comprimer le pou-

(1) La demande de crédits faite par le Ministre de la guerre en vue d'obtenir une augmentation d'avoine dans la ration des chevaux de l'armée allemande n'aboutit, en vertu d'un ordre du cabinet de l'empereur, qu'après publication du mémoire de l'éminent physiologiste de Dresde. (Discussion du budget de la guerre, décembre 1886.)

mon, pour contracter l'intestin, pour expulser l'urine, pour maintenir le corps en station quadrupédale, enfin celui qui détermine le mouvement moléculaire et les échanges d'éléments. C'est le travail de la vie proprement dite, exécuté dans l'intérêt unique de l'individu lui-même et dont l'intensité varie comme les sujets.

Dans l'état actuel de la science, on l'évalue par les voies indirectes et en équivalent d'aliments. Pour cela, on détermine expérimentalement la quantité (1) de ces aliments nécessaires pour que la machine animale au repos relatif conserve son poids vif. L'équivalent mécanique de ceux-ci étant connu, un simple calcul de proportion suffit pour obtenir la valeur du travail accompli, l'énergie contenue dans les aliments consommés ayant satisfait aux nécesssités de ce travail intérieur.

Vient ensuite le *travail extérieur,* ou celui que le moteur accomplit en se déplaçant lui-même à une vitesse quelconque. Il résulte de la contraction des muscles actionnant les leviers et leur imprimant des mouvements coordonnés déterminant les allures.

Les mécaniciens purs qui l'avaient calculé s'étaient basés à tort sur la masse et la vitesse, comme pour l'évaluation du travail extérieur de la locomotive. Mais ici le cas n'est plus le même : les facteurs du travail sont différents. Ce n'est pas seulement la masse et la vitesse ou le chemin parcouru dans l'unité de temps qui le font varier ; c'est aussi l'*allure* de la marche. Pour une même masse et une même vitesse, le travail du moteur animé se déplaçant lui-même peut différer du simple au double, ce qui ne saurait avoir lieu dans le cas de la locomotive, où il n'y a pas d'autre différence que celle de la vitesse entre l'allure rapide et l'allure lente.

(1) C'est à cette quantité qu'on a donné le nom de ration d'entretien.

En effet, chez le cheval se déplaçant au pas, l'effort pour le porter en avant n'a pas d'autre résistance que celle opposée par la stabilité du centre de gravité qui doit être déplacé suivant une ligne horizontale, toujours équidistante des points d'appui sur le sol. Cet effort n'est par conséquent qu'une fraction du poids du corps ; il est représenté par la résultante des deux composantes horizontale et verticale, du chemin parcouru par le centre de gravité et de la pesanteur, qui, dans cette allure, ne doit être vaincue qu'à demi.

L'intéressant était de déterminer la mesure exacte de cet effort. Mais cette détermination ne pouvant être obtenue par la voie directe, c'est-à-dire par l'emploi du dynamomètre, on imagina un dispositif réalisant artificiellement les conditions dans lesquelles cet effort se produit. Sans entrer ici dans les détails de ce dispositif, disons que les nombreuses expériences entreprises à ce sujet ont autorisé à admettre que, pour déplacer le corps de l'animal quadrupède à l'allure du pas, il faut un effort représentant 0,05 *du poids vif* de cet animal.

Aux allures du trot et du galop, au contraire, il y a toujours entre deux appuis un instant de durée variable selon la vitesse, pendant lequel le corps, complètement soulevé, doit être projeté en avant, à la manière d'un projectile. Il parcourt une trajectoire plus ou moins tendue et de forme différente, selon qu'il s'agit de l'allure du trot ou de celle du galop. Il est évident qu'ici l'effort nécessaire pour donner l'impulsion à la masse ne peut pas être le même que dans l'allure lente. Il est forcément plus grand.

Dans les allures vives, en effet, la pesanteur devant être vaincue tout entière, la composante verticale sera moitié plus grande que dans celle du pas, et conséquemment la résultante, représentant la somme d'effort déployé, deviendra double pour le trot et le galop. C'est en s'appuyant sur ce raisonnement, vérifié du reste par les voies indirectes,

qu'on a estimé à 0,10 *du poids vif*, la valeur de l'effort nécessaire pour les allures rapides.

Il n'est pas extrêmement rare, dit M. Sanson, dont les travaux nous servent toujours de guide, de trouver des chevaux qui, à l'allure du pas, marchent à une vitesse égale à celle que d'autres chevaux de même poids ne peuvent atteindre qu'en trottinant. Cela tient à une différence de conformation et d'ardeur. En tout cas, pour le même chemin parcouru, le travail extérieur des premiers est moitié moindre que celui des seconds, quoique le temps et la masse déplacée soient égaux. Cette masse et sa vitesse ne sont donc pas seules à considérer dans le calcul du travail extérieur des moteurs animés, parce que l'effort ne croît pas seulement en fonction de la vitesse, mais bien aussi en fonction de l'allure. Il ne croît en fonction de la vitesse seule, pour un même poids et un même temps, que pour la même même allure.

Le travail intérieur et le travail extérieur étant maintenant connus, voyons, pour terminer ce chapitre, ce qu'on entend par travail utile ou disponible et par travail total.

On appelle *travail disponible* celui qui peut être utilisé à notre profit, selon les différents modes auxquels se prêtent les équidés moteurs. Il a été évalué empiriquement, en ce qui concerne les chevaux, par divers ingénieurs éminents. Mais nous avons vu que les valeurs moyennes auxquelles ils l'ont porté sont beaucoup trop basses, et les progrès des sciences biologiques nous permettent de nous rendre compte des erreurs qu'ils ont commises.

Pour les mécaniciens, ce travail correspondrait à une moyenne générale de 66 kilogrammètres à la seconde. Pour les physiologistes, au contraire, l'aptitude mécanique du cheval ne serait pas inférieure à 83 kilogrammètres. Nous avons donné les raisons qui nous ont fait adopter ce dernier chiffre.

Pour calculer la quantité de travail disponible qu'un moteur animé peut fournir, il suffit de soustraire du travail total déployé par la machine, la somme de travail intérieur plus celle du travail extérieur exigés par le fonctionnement de l'organisme, et par le déplacement de la masse du corps. Ce travail disponible étant seul utile, on a tout intérêt à réduire au minimum possible le travail intérieur et le travail extérieur, afin de porter au maximum celui qui peut être utilisé.

Si le travail exigé du moteur est supérieur à la quantité qu'il a disponible, c'est aux dépens de sa propre substance qu'il devra couvrir la différence ; et si une telle exigence se renouvelle journellement elle entraînera bientôt l'épuisement de l'animal.

Quant au *travail total*, il est représenté par la somme des différents travaux dont nous venons de nous occuper dans ce chapitre. Cette somme est nécessairement proportionnelle à la quantité d'énergie en provision, qui est elle-même proportionnelle à l'alimentation, étant donné qu'il s'agit seulement de l'énergie que la machine peut utiliser sans détruire ses matériaux de construction, c'est-à-dire sans se dépenser elle-même.

CHAPITRE III

MODES D'EMPLOI DE LA FORCE MOTRICE

Dans l'armée, le travail disponible est utilisé selon deux modes généraux. Le déplacement de masse, qui le dépense, est effectué à l'allure lente du pas ou aux allures vives du trot et du galop. Le premier est appelé *travail en mode de masse*, le second *travail en mode de vitesse*. Dans l'un comme dans l'autre cas, la charge à transporter peut être une charge déposée indifféremment sur le dos du moteur (cavalerie),

ou sur un véhicule auquel ce moteur est attelé et dont il opère la traction (artillerie, train).

On admet, en mécanique générale, qu'il existe un rapport simple d'équivalence entre les deux facteurs du travail, c'est-à-dire entre la masse transportée et la vitesse de transport. Partant de ce principe, la machine à feu qui fonctionne en mode de masse gagne en charge transportée ce qu'elle perd en vitesse, et celle qui effectue son travail en mode de vitesse gagne en vitesse ce qu'elle perd en charge. En somme, dans le fonctionnement de cette machine, une vitesse double équivaut à une masse déplacée diminuée de moitié. Mais en ce qui concerne le travail des moteurs animés, les compensations ne peuvent point s'établir suivant des équivalences régulières, comme l'accroissement ou la décroissance de la vitesse, puisque, pour la même vitesse et par le seul fait du changement de l'allure, le coefficient de l'effort varie du simple au double.

Ainsi, un cheval portant une charge de 80 kilogrammes marchant à l'allure du pas d'une vitese de 1 mètre 50, comme il n'est pas très rare d'en trouver, durant une heure ou 3,600 secondes, dépensera un travail disponible de : $80 \times 0,05 \times 1,50 \times 3,600 = 21,600$ kilogrammètres. Un autre cheval portant la même charge, marchant à l'allure du trot, mais à la même vitesse de 1 mètre 50, en raison de sa conformation et de son peu d'ardeur, et durant le même temps, en dépensera juste le double pour le même effet utile. En effet : $80 \times 0,10 \times 1,50 \times 3,600 = 43,200$ kilogrammètres.

Dans ce dernier cas, il faudra donc moitié moins de temps, à travail disponible égal, pour épuiser le potentiel ou travail total emmagasiné, ou pour le même temps le travail disponible sera moitié moindre. Le moteur ne pourra transporter dans sa journée qu'une charge réduite à la moitié, ou bien, si la charge est égale, il ne pourra travailler qu'une demi-journée.

Mais l'égalité de vitesse que nous admettons n'est point le cas ordinaire. Dans les conditions communes, la vitesse du trot modéré est généralement un peu plus du double de celle du pas. Cela change les données du problème et rend encore plus saisissante l'importance de la considération des modes de travail dans l'emploi utile des moteurs animés.

En effet, continuons à prendre pour exemple notre cheval portant une charge de 80 kilogrammes et faisons-le marcher à l'allure du pas d'une vitesse de 1 mètre pendant 1 heure. Nous aurons : $80 \times 0{,}05 \times 1 \times 3{,}600 = 14{,}400$ kilogrammètres. A l'allure du trot, d'une vitesse que nous comptons à 2 mètres seulement pour la commodité de notre démonstration, la dépense sera : $80 \times 0{,}10 \times 2 \times 3{,}600 = 57{,}600$ kilogrammètres. $57{,}600 : 14{,}400 = 4$. D'où il suit qu'en doublant la vitesse on quadruple le travail nécessaire pour le transport de la même masse.

On voit par là combien il importe de tenir compte de l'allure, quand il s'agit de régler le travail des moteurs animés. Sans doute, l'observation empirique a depuis longtemps fait établir des règles pratiques à cet égard. Nul n'ignore que, de tous les modes d'emploi de la force de ces moteurs, celui qui utilise la proportion la plus élevée de leur travail total, c'est sans contredit la traction à l'allure lente du pas. Mais il ne saurait être indifférent de se rendre un compte précis des raisons mécaniques qui font que les choses sont ainsi. La connaissance de ces raisons est, en tout cas, le meilleur guide pour la pratique.

De même, la notion de l'exacte appropriation des moteurs aux modes de travail pour lesquels on les destine n'est pas moins importante, puisqu'elle permet de porter au maximum le travail disponible et de tirer de la machine animale le rendement le plus élevé. Ceci concerne la détermination des aptitudes spéciales, qui doit guider dans le choix de nos chevaux pour les divers services, et qui est une des princi-

pales causes de leur conservation ou de leur usure prématurée.

CHAPITRE IV

APTITUDES SPÉCIALES

On démontre aujourd'hui, en mécanique animale, que la puissance absolue d'un muscle est proportionnelle au nombre de ses fibres, c'est-à-dire à son plus grand diamètre. D'un autre côté, l'examen anatomique de l'organisme nous apprend qu'il existe habituellement une relation étroite entre les diamètres des masses musculaires et le poids du corps. Du rapprochement de ces deux faits, on a conclu que l'aptitude mécanique de la machine est en raison directe de son poids vif. Cela est vrai d'une manière générale; mais les recherches de Aeby et de Marey nous ont fait voir que le nombre des faisceaux n'indique pas toujours la valeur de la puissance réelle, et que la force du moteur animé se manifeste selon des modes divers qui dépendent de la forme de ses muscles. On sait enfin qu'à forme égale et à poids égaux, le travail de ces derniers est proportionnel à l'excitabilité nerveuse qui détermine leurs contractions, ou mieux au nombre d'ondulations qui les parcourent dans l'unité de temps. Ceci posé, entrons dans notre sujet.

Dans le travail dépensé en mode lent, les efforts des ondulations contractiles s'additionnent, s'ajoutent des uns aux autres, jusqu'à ce que la résistance soit vaincue. Il en résulte que la puissance musculaire est, ici, absolument et relativement proportionnelle à la masse des muscles, indépendamment de leur forme. En effet, dans le mode dont il s'agit, 100 faisceaux d'une longueur de 25 centimètres déploient finalement autant de travail que 50 dont la longueur est double, à puissance de contraction égale, le nombre d'ondulations étant le même dans les deux cas.

Les conclusions pratiques que l'on doit tirer des différentes propositions exposées plus haut, c'est que les chevaux destinés à traîner de lourdes charges au pas, ceux du train des équipages par exemple, doivent présenter de grands diamètres musculaires, un poids vif élevé, des formes trapues et arrondies, puisque la force déployée par un muscle est proportionnelle à son diamètre et non point à sa longueur (Weber) et que l'effort total de la machine animale est en raison de son poids.

On serait conduit à admettre, d'après cela, si l'on s'en tenait à ce seul côté de la question, qu'il ne peut y avoir que des avantages, pour la puissance du moteur, à voir augmenter indéfiniment ses diamètres musculaires. Mais une autre considération, celle du travail disponible, intervient pour modifier la conséquence de ce raisonnement.

Cette considération montre qu'un moment arrive où les augmentations ne peuvent plus avoir aucun intérêt pour nous. Elles ont donc une limite, au delà de laquelle on peut même concevoir théoriquement qu'elles seraient inefficaces pour le moteur lui-même. La science nous met maintenant en mesure non seulement de discuter ce moment, mais encore de le calculer d'une manière précise.

Il suffit, pour avoir la base du calcul, de songer que, si la puissance croît comme le carré des augmentations des diamètres des muscles, le poids de la masse à déplacer ou de l'organisme entier croît, de son côté, comme le cube de ces mêmes augmentations (Welcker). Par conséquent, si l'accroissement indéfini était possible, il arriverait un moment où l'animal ne disposerait plus de la force nécessaire pour mouvoir son propre poids. Sans nous engager sur ce domaine purement rationnel, bornons-nous à exposer la portée pratique du théorème de mécanique animale dont il s'agit, en prenant nos exemples dans la réalité.

Supposons un cheval, et, en attendant que l'expérimenta-

tion ait déterminé l'exactitude des facteurs du calcul, désignons arbitrairement par le chiffre 1 ses dimensions linéaires, la somme de ses diamètres musculaires, sa masse ou son poids total; indiquons par 100 le travail moteur que son système musculaire est capable de déployer; enfin, représentons par le nombre 50 le travail nécessaire pour le déplacement de ce cheval à l'allure du trot. Nous aurons ainsi toutes les données du problème, auxquelles il sera facile de substituer des données réelles, quand elles auront été indiquées.

Supposons maintenant que les dimensions linéaires soient doublées; elles seront par conséquent $= 2$. La somme des diamètres musculaires, croissant comme leur carré, sera $2 \times 2 = 4$. Le travail moteur sera $4 \times 100 = 400$. La masse ou le poids vif, croissant comme le cube des dimensions linéaires, sera $2 \times 2 \times 2 = 8$. Le coefficient du travail exigé pour le mouvoir est 50; $50 \times 8 = 400$. Il s'ensuit que, dans le cas considéré, toute la force motrice que l'appareil musculaire peut fournir sera consommée pour mouvoir l'organisme. Il ne restera plus aucun travail disponible.

C'est ce qui arrive pour les chevaux dépassant un certain poids, et que l'on fait travailler en mode de vitesse, auquel ils ne sont point utilisables, puisque dans ces conditions, la force dont ils disposent suffit tout juste pour les transporter eux-mêmes.

Appliquons le même calcul au cas de l'allure du pas, dans lequel nous savons que le coefficient est moitié moindre, c'est-à-dire de 25 au lieu de 50. En continuant de prendre pour base le cheval supposé, nous aurons :

Dimensions linéaires...	= 1		
Diamètres musculaires.	= 1.1 × 100	= 100	= travail emmagasiné.
Masse du corps........	= 1.1 × 25	= 25	= travail extérieur.
Reste............		= 75	= travail disponible ou utile.

Doublons maintenant les dimensions, nous avons :

Dimensions linéaires... = 2
Diamètres musculaires. = 4.4 × 100 = 400 = travail emmagasiné.
Masse du corps......... = 8.8 × 25 = 200 = travail extérieur.

Reste.............. = 200 = travail disponible ou utile.

Il ressort de là que l'accroissement des dimensions linéaires du corps, défavorable pour le travail au trot, est au contraire propice pour le travail au pas. Leur doublement fait presque tripler le travail disponible, puisque de 75 il passe à 200. Il en faut conclure pratiquement qu'il y a, pour les moteurs animés, un certain poids vif au-dessus duquel ils ne sont plus utilisables en mode de vitesse, parce que le travail qu'ils sont capables d'engendrer ou d'emmagasiner est totalement employé pour le fonctionnement de l'organisme et le transport de la masse.

A la limite extrême de ce poids vif, qui peut être fixé à 700 ou 800 kilogrammes, il ne subsiste guère de doute dans l'esprit des praticiens. Tous savent que le cheval d'un tel poids n'est pas apte à fournir un bon service au trot. Mais en deçà de cette limite, surtout lorsque la forte masse du corps se trouve jointe à la bonne disposition des membres et à la vivacité qui assure une certaine agilité relative, la pratique empirique se montre assez souvent en défaut dans le choix de ses moteurs animés. Certaines administrations des mieux dirigées possèdent, en effet, un plus ou moins grand nombre de chevaux, dont le rendement en travail utile est peu élevé, à cause de leur trop fort poids.

Dans les conditions de la pratique, le travail disponible nécessaire pour exécuter le service journalier exigé des chevaux qui fonctionnent à l'allure du trot ne dépasse point un million de kilogrammètres, en nombre rond. Or, l'expérience a démontré qu'un cheval du poids de 500 kilogrammes peut facilement, en raison de son aptitude digestive,

accumuler en vingt-quatre heures l'énergie correspondant à cette quantité de travail, plus celle qui est nécessaire pour le mouvoir lui-même. Enfin, des recherches souvent vérifiées ont permis de constater que les diamètres musculaires de ce cheval lui permettent de déployer aisément, en mode de vitesse, la force emmagasinée par le générateur.

Il y a donc lieu de considérer ce poids de 500 kilogrammes comme le plus favorable, économiquement, pour la fonction de moteur animé devant fournir à l'allure du trot le maximum de travail utilisable, en admettant, bien entendu, que les conditions de conformation et d'agilité exigées pour ce genre de service soient réalisées. Celles-ci valent, du reste, pour la solidité du moteur et conséquemment pour sa durée.

Mais les données que nous venons de voir ne concernent que l'aptitude spéciale au travail en mode de vitesse modérée, c'est-à-dire ne dépassant pas la moyenne de 2 mètres à $2^{m},20$ par seconde, ou 7 à 8 kilomètres à l'heure. Si, maintenant, nous voulons déterminer l'aptitude la plus favorable au mode de travail en grande vitesse, il nous faut modifier quelque peu les notions de mécanique générale précédemment développées.

Pour réaliser cette grande vitesse, la puissance des contractions musculaires importe moins que la rapidité de leur action et que l'étendue du mouvement qui en résulte. En effet, si la contraction d'un muscle gros et court déploie un effort intense, proportionnel au diamètre de l'organe et favorable à l'action de la force motrice, elle produit par contre un faible raccourcissement, suffisant néanmoins pour le travail en mode de masse, où la vitesse n'entre pour ainsi dire pas en ligne de compte. Au contraire, celle d'un muscle long et grêle produit un raccourcissement considérable favorisant l'étendue et la rapidité du mouvement, et conséquemment la vitesse de l'allure. Il est vrai que, dans ce cas, la valeur de l'effort est peu élevée; mais,

comme dans le travail en mode de vitesse la masse à déplacer est relativement minime, cela n'a pas une importance de premier ordre.

Conséquemment, la condition essentielle que doit présenter un cheval destiné à fournir un service aux allures rapides est donc d'avoir les muscles moteurs des membres aussi longs que possible. Il va sans dire que la réunion d'un fort diamètre et d'une grande longueur réalise la perfection; mais, celle-ci étant exceptionnelle, il vaut mieux encore ici un faible diamètre avec une grande longueur qu'une faible longueur avec un fort diamètre. Expliquons, en deux mots, les raisons de notre préférence.

Les muscles des membres ont pour fonction de fermer ou de maintenir à leur degré normal d'ouverture les angles constitués par les os sur lesquels ils s'insèrent, et qui forment en général des leviers du troisième genre ou interpuissants, dans lesquels le bras de la résistance est toujours plus long que celui de la puissance. Cette disposition permet des mouvements fort étendus et favorise la vitesse au détriment de la puissance.

En effet, l'étendue de l'aire parcourue par le bras de levier de la résistance est toujours proportionnelle à la longueur de celui-ci et à la grandeur du raccourcissement des muscles qui le mettent en mouvement. En supposant que, sous l'influence d'une excitation motrice quelconque, ces muscles se raccourcissent invariablement d'un dixième de leur longueur, le raccourcissement atteindra $0^m,03$ quand les fibres musculaires auront $0^m,30$ de longueur; il atteindra $0^m,05$ quand cette longueur sera de $0^m,50$. Et, comme la longueur des bras de leviers est nécessairement corrélative de celle des muscles, le chemin parcouru dans le premier cas sera de $0^m,30$; il sera de $0^m,50$ dans le second. La vitesse, c'est-à-dire l'effet utile de la puissance, aura été ainsi presque doublée, bien que le nombre des faisceaux n'ait pas changé.

Mais, si les dimensions en largeur des muscles des membres sont restées invariables, celles en longueur ont été augmentées, et il en est résulté un accroissement du poids de ces organes et partant de celui de la masse totale. Or, si l'on admet avec Welcker que la puissance mécanique de l'organisme croît en raison du carré des augmentations linéaires, tandis que la masse à déplacer croît comme le cube de ces mêmes dimensions, on doit en conclure que, dans l'aptitude spéciale dont nous nous occupons, le gain en vitesse est compensé par une perte au moins équivalente en travail disponible. Toutefois, en réfléchissant que la vitesse est ici la qualité prédominante, et que chez les chevaux aptes à fonctionner aux allures rapides, l'accroissement du volume des muscles des membres coïncide généralement avec la légèreté relative de ceux du tronc, on voit que le poids de la masse à déplacer est plutôt réduit qu'augmenté, et que la dépense en travail extérieur est en somme diminuée.

Il résulte de cette théorie que la longueur des parties musclées des membres, telles que les épaules, les cuisses, les avant-bras et les jambes, caractérise, tout le reste égal, l'aptitude aux allures vives, et que cette dernière dépend, de son côté, de l'accroissement des dimensions linéaires en longueur, celles en largeur restant les mêmes.

Ajoutons à cela que l'étude des mouvements accomplis par les différentes régions des membres, et celle des résistances que ces régions opposent aux actions mécaniques, indiquent que les conditions de la perfection sont réalisées à tous égards, lorsque les angles similaires sont tous des angles droits ou de 90° ; c'est-à-dire lorsque tous les axes obliques sont inclinés de 45° sur l'horizon. Mais cette inclinaison ne se rencontrant que très rarement, c'est donc à celle qui s'en éloigne le moins qu'on doit donner la préfé-

rence dans le choix des moteurs destinés à fournir du travail en mode de vitesse.

A peine est-il besoin de faire remarquer que la contraction des muscles moteurs du mécanisme a toujours pour but, en définitive, de fermer des angles, et que son effet utile est d'autant plus grand que ces angles sont moins ouverts, ou que l'obliquité des axes osseux est plus accusée. Rappelons enfin que le degré d'inclinaison des axes osseux est toujours nécessairement proportionnel à leur longueur, et que les plus longs sont en même temps les plus inclinés et les mieux musclés dans le sens que nous venons d'examiner, ceux qui produisent par conséquent les mouvements les plus étendus lorsque l'animal dépense pour se porter en avant toute la force dont il dispose. Et si avec cela le sujet est bien doué sous le rapport de l'excitabilité nerveuse, dont dépend la rapidité de répétition des mouvements, il présente toutes les conditions qui garantissent le mieux le plus grand développement de l'aptitude spéciale aux allures vives.

En résumé, les dispositions que doivent présenter les deux sortes de moteurs, travaillant en mode de masse et en mode de vitesse, sont faciles à déterminer, eu égard au travail disponible, qui est le but pratique de l'entretien dont ils sont l'objet.

Dans l'armée, le problème se pose de la façon suivante :

Etant donné un mode de travail à exécuter, il s'agit de choisir les moteurs les plus aptes, ceux qui fourniront le plus fort rendement. La solution du problème engage toujours les intérêts les plus considérables. Elle a dès lors une importance de premier ordre.

Les détails dans lesquels nous sommes entré montrent clairement que, pour le travail en mode de masse, pour le travail à l'allure lente du pas, le moteur le plus lourd, à conformation égale, est toujours le plus apte, parce qu'il a

les diamètres musculaires les plus grands. C'est celui qui rend le plus de travail disponible. Un moteur de gros trait, cheval ou mulet, ne saurait donc jamais être de trop grande taille ni trop volumineux. A cet égard, du reste, la pratique est déjà conforme à la théorie. L'observation empirique l'a éclairée.

Pour toutes ces raisons, on choisira de préférence les animaux de gros trait parmi ceux des races boulonnaise, percheronne, poitevine, belge, flamande, hollandaise ; parmi les chevaux des comtés de Suffolk, de Norfolk, de Cambridge, de Lincoln ; et parmi les grands et lourds mulets du Poitou. Le poids vif, dans ces races, ne descend guère au-dessous de 700 kilogrammes et va souvent jusqu'à 900 kilogrammes. Les moteurs qu'elles fournissent, alimentés au maximum, disposent en moyenne d'un travail utilisable de 2,500,000 kilogrammètres.

Mais il n'en est pas de même en ce qui concerne le travail en mode de vitesse. A cet égard, nous savons déjà que l'aptitude mécanique est proportionnelle à la légèreté du moteur, puisque le rendement en travail disponible s'élève à mesure que le poids à mouvoir ou à transporter diminue. Nous savons également que la puissance digestive, qui gouverne pour une forte part l'aptitude mécanique ou la capacité totale de travail, est elle-même inversement proportionnelle au poids du corps. Enfin, nous avons vu que les limites extrêmes de cette puissance digestive sont telles, que le taux de la relation journalière, en matière sèche alimentaire d'une relation nutritive convenable pour le genre et l'âge de l'individu, ne peut guère descendre au-dessous de 2, 5 p. 100 du poids vif et s'élever au-dessus de 3.

Baudement (1) a même établi qu'entre ces deux limites,

(1) Expériences faites sur des chevaux de cavalerie en garnison à Versailles. Année 1851.

le taux croît à mesure que le poids vif s'abaisse, et il a montré que, pour une même alimentation et une même dépense en travail disponible, les chevaux les plus lourds sont ceux qui conservent le mieux leur poids. Plus récemment, on a prouvé par l'expérimentation que la dépense proportionnelle en travail intérieur croît à mesure que le volume de l'animal diminue, et qu'il en est de même pour la capacité digestive.

Il est donc bien certain que l'aptitude mécanique ne croît point selon la même raison que celle de la progression du poids; mais, en fût-il autrement, le mode d'emploi de cette aptitude ou de la capacité totale de travail introduirait dans le calcul un élément nouveau, qui en changerait complètement le résultat. Pour des vitesses égales ou peu différentes, nous avons déjà vu que le changement d'allure double la dépense en travail extérieur. Pour peu que la vitesse soit accélérée, si apte que le moteur puisse être à la produire, en raison de sa conformation spéciale, il arrive un moment où l'énergie accumulée ne peut plus suffire que durant un temps très court au déplacement du corps, si celui-ci a atteint un certain poids.

Il ne faut donc pas craindre de choisir comme cheval de guerre des sujets de petite taille, puisque leur aptitude mécanique est plus grande et qu'ils fournissent conséquemment une plus grande somme de travail utile. On sait, du reste, que la cavalerie des Arabes, des Cosaques, des Hongrois, etc., a toujours été la plus mobile, la plus résistante et la plus infatigable de toutes, précisément parce qu'elle est composée de très petits chevaux.

Les grands et lourds chevaux de selle, d'ailleurs si difficiles à produire bons et bien conformés, n'ont bien souvent ni l'aptitude ni la vigueur voulues pour résister aux rudes travaux que, dans l'état actuel de l'Europe, l'armée exige aujourd'hui de ses moteurs animés.

En tout cas, les percherons légers, les bretons, les irlandais, les ardennais, les normands, les chevaux du Yorkshire, du Norfolk, de Cleveland, etc., etc., fournissent les meilleurs moteurs de traction à vitesse modérée pour les lourdes charges, par conséquent pour les attelages de l'artillerie et pour ceux de certains services auxiliaires. Leur poids vif moyen est de 500 à 600 kilogrammes, et leur force utilisable est de 500,000 kilogrammètres, avec l'alimentation au maximum.

Ceux qui, dans cette catégorie, se montreront les plus souples, les plus sveltes, les plus légers, les plus énergiques, les plus « près du sang » en un mot, seront affectés de préférence au service de la cavalerie de ligne ou de réserve, à cause de leur aptitude spéciale au travail à grande vitesse.

Enfin, pour la même raison et par égard pour la taille des cavaliers, on réservera pour la cavalerie légère les chevaux arabes, barbes, andalous, navarins, limousins, etc., dont le poids vif varie entre 300 et 400 kilos, et dont le travail utilisable s'élève jusqu'à 900,000 kilogrammètres et même plus quand ils reçoivent toute la protéine brute alimentaire qu'ils peuvent digérer. Ceux-ci d'ailleurs sont les véritables modèles du cheval de guerre pour la cavalerie ; ils sont généralement plus sobres, plus rustiques et plus souples que les grands chevaux ; ils évoluent avec facilité sur un petit espace à la moindre invitation de leur cavalier, et conséquemment se prêtent mieux aux exigences du rôle actuel de la cavalerie.

A tout ce qui vient d'être dit, il convient d'ajouter encore que, chez le cheval de guerre surtout, l'excitabilité nerveuse, l'énergie, la vigueur ou « le sang », comme on l'appelle aussi, doit être recherchée toujours comme complément des qualités de solidité du mécanisme et de bonne disposition du générateur de force. Elle porte alors la puis-

sance du moteur animé à son plus haut degré et augmente sa faculté de résistance aux fatigues.

Mais, en l'absence de ces qualités physiques, la forte excitabilité nerveuse n'a que des inconvénients pratiques, puisque, dans ces conditions, l'animal épuise rapidement la source mal alimentée de sa force et use prématurément son mécanisme insuffisant. Mieux vaut, pour l'emploi utile de sa fonction, pour l'exploitation économique du capital qu'il représente, qu'il ménage l'un et l'autre, qu'il ait moins de brillant et qu'il rende des services plus durables.

CHAPITRE V

RENDEMENTS COMPARATIFS

Dans l'étude que nous abordons dans ce mémoire, il ne saurait être indifférent de comparer le rendement des différents moteurs animés employés dans les services militaires, et de connaître ceux qui fournissent la plus grande somme de travail utile pour une même alimentation.

Certes, on peut admettre d'une façon absolue que la puissance musculaire des mâles entiers est plus grande que celle des mâles émasculés, puisque les diamètres des muscles sont plus grands chez le cheval avant qu'après son émasculation, et que l'excitabilité nerveuse est également plus développée chez le premier que chez le dernier.

De même, si l'on réfléchit que le tissu musculaire de la jument contient une plus forte proportion d'eau et de matières colloïdes que celui de l'étalon, on comprend parfaitement que, pour une même masse, la capacité mécanique de celui-ci se montre supérieure à celle de la femelle.

Mais la force totale qu'un moteur est capable de déployer n'est point le principal ; ce qui importe le plus à celui qui l'entretient, c'est celle qu'il utilise. De celle-là, l'expérience

seule peut donner la mesure. Il n'est pas possible de la déterminer en se basant uniquement sur les considérations que nous venons d'exposer. En effet, si le cheval entier, dont la puissance est incontestablement plus grande, consomme en travail intérieur ou en travail extérieur plus que que la différence qui existe entre son aptitude mécanique et celle de la femelle ou du cheval émasculé, évidemment, sa supériorité comme moteur n'existera plus.

La question, posée en ces termes, a été mise à l'étude dans la cavalerie de la Compagnie générale des omnibus de Paris pendant plusieurs années. Les résultats obtenus ont montré que la réforme et la mortalité proportionnelles sont l'une et l'autre en faveur des chevaux hongres et des juments, que l'emploi des animaux entiers expose hommes et bêtes à des chances plus nombreuses d'accidents, et que. en définitive, les premiers sont plus avantageux à exploiter, à poids vif égal et pour la même ration alimentaire.

L'explication théorique de ce fait est d'ailleurs facile à donner. Le mâle entier a des besoins plus impérieux; sa digestion est plus puissante, sa respiration plus active, sa nutrition plus intense et ses sécrétions sont plus concentrées. Il use, dans le même temps, une plus forte somme de matières alibiles; il élimine une plus grande quantité de résidus; il vit, en un mot, plus activement et a besoin pour s'entretenir ou conserver son poids d'une proportion d'éléments nutrictifs plus considérable que celle qui suffit, à poids vif égal, à la femelle et au neutre. Nous savons aussi qu'il est en général plus vif, plus impétueux, et que, par conséquent, il travaille moins paisiblement, moins régulièrement, dépensant une partie de sa force musculaire en mouvements désordonnés. Tout ce qui est ainsi dépensé, soit en surplus de travail interne, soit en travail externe désordonné et superflu, est perdu pour le travail utile ou

effectif, dont la quotité disponible sur le travail total que le moteur peut engendrer se trouve réduite d'autant.

On comprend donc sans peine que le rendement utile du cheval entier soit inférieur à celui de la jument et du cheval hongre, comme l'expérience l'a du reste montré d'une manière incontestable.

Ce rendement utile est le but essentiel de l'entretien de nos moteurs animés. C'est lui qui, à alimentation égale, détermine la valeur des services qu'on retire de cet entretien. Il mérite, à ce titre, d'être pris en très grande considération, au lieu d'être négligé pour ne s'en tenir qu'aux apparences absolues dont s'inspirait l'ancienne zootechnie.

Nous n'avons malheureusement pas encore de résultats d'expériences précises pour résoudre le problème de la comparaison entre les chevaux des différentes races comme moteurs animés. On est obligé, pour cela, de se contenter de ceux fournis par l'observation pure. Mais ces résultats sont tellement nombreux et tellement concordants, ils constituent par leur ensemble une telle évidence, qu'on ne risque guère de se tromper en les interprétant.

Personne ne fera de difficulté pour admettre qu'il soit possible d'obtenir, à nourriture proportionnellement égale, plus de travail d'un cheval de race orientale que d'un autre pris parmi l'une quelconque de nos races occidentales. C'est en cela surtout que consiste la sobriété des chevaux orientaux, qu'ils transmettent, plus ou moins intégralement, aux produits de leurs croisements. En ce sens, le rendement absolu des moteurs originaires d'Asie et d'Afrique, comme de ceux qui en dérivent, est beaucoup plus élevé que celui des autres.

CHAPITRE VI

CALCUL DU TRAVAIL

Pour appliquer utilement les notions de mécanique animale exposées dans la deuxième partie de cet ouvrage, il faut être en mesure de calculer aussi approximativement que possible le travail des masses en mouvement, dans les divers modes suivant lesquels ce travail se produit. Le but pratique du calcul est d'établir l'équation entre l'alimentation du moteur et la quantité d'énergie qu'il dégage pour accomplir son service.

Si cette équation n'existe pas, il peut arriver de deux choses l'une : ou bien l'alimentation dépasse la mesure du nécessaire, et alors l'excédent est rejeté avec les déjections ; ou elle reste en dessous, et en ce cas le moteur, déployant de la force aux dépens de sa propre substance, altère sa constitution, périclite et détruit le capital qu'il représente.

L'équation exacte entre le travail disponible et le travail utilisé est la première condition de conservation des moteurs animés, celle qui assure leur plus longue durée et le meilleur service. En la satisfaisant, on évite la misère physiologique, qui, chez les équidés, a pour conséquence presque infaillible de prédisposer l'organisme à contracter de nombreuses maladies. On voit par là combien il importe de bien connaître la mesure du travail, pour diriger au mieux des intérêts de l'armée et du Trésor l'hygiène des moteurs dont nous nous occupons.

Rappelons d'abord les facteurs du calcul, qui sont la masse ou le poids à déplacer, puis le chemin parcouru, mesuré par la vitesse et la durée du mouvement. Rappelons aussi que tout travail externe d'un moteur animé se compose nécessairement de deux parties : 1° celle qui résulte de son propre

déplacement; 2° celle qui provient du transport de la charge surajoutée.

Tantôt cette charge est transportée à dos (cavalerie, mulets de bât); en ce cas, elle se confond avec le moteur, et le travail qui la concerne se calcule en même temps que celui qui est nécessaire au déplacement du moteur lui-même. Tantôt celui-ci est attelé à une pièce à feu ou à un véhicule qu'il fait rouler sur le sol (artillerie, train).

La résistance engendrée dans les divers cas de ce dernier mode n'équivaut jamais à la totalité de la charge; elle varie, suivant une foule de circonstances, entre des limites que le général Morin a fixées à $\frac{1}{20,2}$ et $\frac{1}{99,9}$ de cette charge. En tout cas, l'effet utile n'en est pas moins le produit de la masse déplacée par la vitesse et par le temps; mais il ne faut pas confondre cet effet utile, purement théorique, avec le travail réel.

La résistance effective, ou le *tirage* que la masse oppose à son déplacement, représente toujours l'effort nécessaire au déplacement horizontal de cette masse, correspondant et s'évaluant par conséquent en kilogrammes. Mais le tirage ne peut pas s'apprécier à la balance, il s'évalue au dynamomètre, instrument sur l'emploi duquel il serait trop long de nous expliquer.

Pour arriver à l'exactitude dans le calcul du travail en mode de traction, il faudrait, dans tous les cas, déterminer préalablement le tirage. Cela n'est pas pratique. On est donc obligé de se contenter d'approximations tirées d'analogies entre le cas considéré et ceux sur lesquels il a été fait des déterminations expérimentales. Toutefois, ces approximations ne peuvent être suffisantes qu'à la condition d'une connaissance théorique complète des circonstances qui font varier le tirage, d'un bon esprit d'observation pour apprécier

exactement ces circonstances et d'un sens pratique capable de faire du tout une application judicieuse.

D'après les nombreux essais dynamométriques consignés dans les ouvrages de mécanique pratique et dans *l'Aide-Mémoire* du général Morin (1), on peut admettre, sans chances d'erreur, que le coefficient du tirage des pièces et caissons d'artillerie, des chariots et voitures du train varie entre 0,20 et 0,01 du poids à déplacer, suivant le degré d'inclinaison et l'état de la voie sur laquelle la traction s'effectue ; suivant la nature des matières qui entrent dans la constitution des essieux et des boîtes de moyeu ; suivant le nombre des roues, la longueur de leur rayon et la largeur de leur bande ; suivant le degré de la perfection du harnais qui sert à transmettre l'effet utile, etc.

C'est en tenant compte des diverses influences dont dépend l'effort à déployer pour la traction des charges, et en appliquant à chacune d'elles le coefficient qui s'y rapporte, qu'on arrive à faire un choix judicieux entre les deux fractions citées plus haut, et à déterminer aussi exactement que possible le poids de la charge que des moteurs attelés doivent transporter.

Etant donné le tirage, le travail s'obstient en multipliant sa valeur par la vitesse et par le temps (Rueff, Sanson).

En désignant le travail par T, le charge par P, le coefficient de tirage par t, la vitesse par V, et le temps en secondes par S, le calcul se représente par l'expression algébrique suivante, applicable à tous les cas : $T = Pt \times V \times S$.

Il suffit, pour chaque cas particulier, de substituer dans le calcul les valeurs connues aux signes correspondants. Et l'on voit que, dans la formule, la seule valeur difficile à trouver est celle de t ou du coefficient du tirage. Elle se trouve,

(1) A. Morin, *Aide-Mémoire de mécanique pratique*, 4[e] édition, page 325.

répétons-le, par l'expérience directe ou s'évalue à l'estime, d'après la connaissance qu'on a des cas analogues dans lesquels elle a été déterminée expérimentalement.

Voyons maintenant le calcul du travail effectué dans le transport du moteur lui-même, c'est-à-dire de ce que nous avons nommé le travail extérieur de ce moteur.

Ici, la formule que nous venons d'employer n'est point suffisante pour tous les cas, ou du moins la signification de tous ses signes ne reste pas tout à fait la même. Dans cette formule, la valeur de T resterait toujours égale, encore bien qu'on ferait varier en sens inverse et à la fois celle de P et celle de V ou celle de S, ou celle des deux derniers signes, pourvu que les facteurs fussent affectés de telle sorte que l'un augmentât d'une quantité proportionnellement égale à celle dont l'autre serait diminué.

Ainsi, une charge double pourrait être mue à la même vitesse durant un temps moitié moindre, ou une charge moindre pourrait l'être à la même vitesse durant un temps double, ou à une vitesse double durant le même temps, sans que la quantité de travail fût en rien changée. Dans tous ces cas, la valeur de T resterait la même :

$$2\,Pt \times V \times \frac{1}{2}\,S = \frac{1}{2}\,Pt \times V \times 2\,S = \frac{1}{2}\,Pt \times 2\,V \times S.$$

Le déplacement du moteur fait intervenir un nouvel élément, qui affecte la masse transportée d'un coefficient tout différent de celui du tirage proprement dit et que nous savons déjà dépendre de l'allure particulière à laquelle la vitesse est obtenue. Ce coefficient n'est point, comme celui du tirage, à déterminer ou à estimer pour chaque cas. Il nous est connu, ayant été déterminé une fois pour toutes. Nous savons qu'il est de 0,05 dans l'allure du pas et de 0,10 dans celle du trot et du galop. Il ne reste donc à déterminer que le poids même du moteur, pour calculer son travail à

toutes les vitesses et à toutes les allures, ce qui est beaucoup plus facile que la détermination du tirage.

Mais il est clair d'après cela que, pour le même moteur, le poids restant nécessairement le même, les variations de la vitesse et du temps ne peuvent plus s'équivaloir que pour la même allure, et que par la nature des choses elles sont maintenues dans des limites déterminées et très étroites. On ne pourrait plus ici donner un sens absolument général aux égalités formulées plus haut.

Ce coefficient, connu pour les différentes allures, est celui de l'effort moyen nécessaire pour déplacer le corps. En le désignant par e et en le mettant à la place de t dans notre première formule, il vient : $T = Pe \times V \times S$, qui sert pour calculer le travail extérieur du moteur.

Supposons que le poids de ce moteur soit 600 kilos, et qu'il marche au pas d'une vitesse de 1 mètre durant 10 heures ou 36,000 secondes.

En ce cas, $T = 600$ P $0{,}05\, e \times 1 \times 36{,}000 = 1{,}080{,}000$ kilogrammètres.

Supposons un autre moteur du poids de 450 kilos, allant au trot d'une vitesse de $2^{m},50$ durant cinq heures ou 18,000 secondes.

Alors, $T = 450$ P $0{,}10\ e \times 2{,}50 \times 18{,}000 = 2{,}025{,}000$ kilogrammètres.

Il est évident que, dans les deux cas, le travail utile des moteurs devra être réglé de façon que, s'ajoutant à ces nombres, la somme n'ait pas une valeur supérieure à celle du travail total qu'ils sont capables de déployer, ou en d'autres termes, de façon que le travail utile ne dépasse pas le travail disponible.

La théorie nous enseigne que le règlement s'opère en diminuant la charge, la vitesse ou le temps, s'il y a excès ; en les augmentant, s'il y a insuffisance ; et dans les deux hypothèses, conformément aux équivalences que nous avons

indiquées. Mais, dans le train et surtout dans l'artillerie (1), où l'excès de travail est rendu manifeste, cette année, par l'essai que l'on fait du nouveau tarif des rations, dont l'insuffisance est démontrée à cette heure par la diminution de plus en plus accusée du poids vif des moteurs, il ne peut être question de réduire la vitesse des allures, la durée du travail ou le poids des véhicules. C'est donc l'aptitude mécanique des animaux de ces deux armes qui doit être augmentée en utilisant au maximum leur puissance digestive, c'est-à-dire en augmentant leur ration, si l'on veut éviter que la dépense en travail n'entraîne l'usure prématurée de ces chevaux.

Le travail utile des moteurs qui portent (chevaux de selle) se confond dans le calcul avec leur travail extérieur. Leur charge s'ajoute purement et simplement à leur propre poids.

Le surplus d'effort qu'elle nécessite dépend du même coefficient, variable en sens inverse de celui du tirage, qui diminue à mesure que la vitesse augmente. D'où il suit que les masses transportables à dos sont toujours beaucoup plus faibles que celles transportables par traction.

Le cheval qui porte un cavalier du poids de 80 kilos durant deux heures, au trot d'une vitesse moyenne de $2^m,50$, déploie un travail utile de $80 \times 0,10 \times 2,50 \times 7,200 = 144,000$

(1) Dans l'artillerie comme dans le train, la diminution du poids vif est surtout appréciable sur les grands et forts chevaux, dont le travail extérieur (celui qui est nécessaire pour mouvoir leur propre corps) est, tout le reste égal, plus élevé d'un sixième, d'un cinquième et même d'un quart par rapport à celui des chevaux moyens de ces deux armes.

J'ai constaté, de janvier à juin, une diminution de poids vif variable :

Sur les grands chevaux d'artillerie	de 55 à 75 kilos.
Sur les chevaux moyens d'artillerie	de 25 à 45 —
Sur les grands chevaux du train	de 40 à 55 —
Sur les chevaux moyens du train........	de 15 à 25 —

Ces diminutions amèneront infailliblement la ruine de ces moteurs.

kilogrammètres. Le mulet qui porte durant six heures, au pas d'une vitesse d'un mètre, deux blessés sur des cacolets ou un poids total de 200 kilos environ, déploie un travail de $200 \times 0,05 \times 1 \times 21.600 = 216,000$ kilogrammètres.

Le calcul du travail des équidés allant alternativement au pas et au trot serait dès lors une erreur, si la vitesse était ramenée à une moyenne, sans tenir compte de la différence du coefficient de l'effort moyen. Il ne peut être exécuté exactement qu'en comptant séparément le travail au pas et le travail au trot, et en faisant la somme des deux.

Prenons pour exemple le cheval de cavalerie faisant une marche de six heures, moitié au pas de 1 mètre et moitié au trot de $2^{m},30$, avec une charge de 90 kilos, cavalier, harnachement, paquetage et armes compris. Son travail utile au pas est de $90 \times 0,05 \times 10800 = 48,600$; au trot, il est $90 \times 0,10 \times 2,30 \times 10,800 = 243,560$. Il effectue donc une somme de $48,600 \times 243,560 = 272,160$ kilogrammètres de travail utile, qu'il lui faut avoir disponible, sans quoi c'est aux dépens de son propre fonds qu'il devra la couvrir ; et pour peu qu'une telle dépense journalière se renouvelle, il deviendra bientôt insolvable, c'est-à-dire épuisé, ne pouvant plus s'entretenir.

Toutefois, si des nécessités inéluctables s'opposent à la diminution de la vitesse de l'allure et à la réduction de la durée des manœuvres de nos chevaux de selle, il n'est cependant pas impossible de restreindre dans une certaine mesure la quantité de travail utile que les exigences du service obligent de réclamer de ces animaux. En allégeant le poids de leur harnachement de 7 kilos seulement (1), on dimi-

---

(1) Un officier de cavalerie vient de faire confectionner, d'après ses plans, un harnachement dont le poids est inférieur de 7 kilogrammes à celui du harnachement réglementaire. L'avantage de l'adoption du modèle présenté par cet officier nous semble suffisamment démon-

nuerait de 20,000 kilogrammètres, en chiffre, rond, la dépense journalière en travail utile et l'on se rapprocherait d'autant de la quantité disponible, qui, dans l'état actuel des choses, est généralement inférieure au quantum consommé.

CHAPITRE VII

ALIMENTATION DES MOTEURS ANIMÉS DE L'ARMÉE

L'alimentation, dans laquelle la machine animale puise la force ou l'énergie mécanique qu'elle manifeste sous forme de travail, doit être réglée de façon qu'elle fournisse une quantité de protéine correspondante à celle qui se détruit sous l'influence de la contraction musculaire et conformément à son équivalent mécanique.

Cet équivalent a été évalué, par de nombreuses recherches expérimentales, à 1,600,000 kilogrammètres pour chaque kilogramme de protéine alimentaire contenu dans la ration. Celle-ci, pour être suffisante, doit donc contenir autant de fois un kilogramme de protéine brute alimentaire que la machine motrice effectue de fois ce nombre de 1,600,000 kilogrammètres, indépendamment de la quantité nécessaire pour les besoins du travail intérieur ou pour l'entretien de l'organisme n'exécutant aucun travail externe.

Mais, pour régler convenablement la ration du cheval de troupe, il ne suffit pas de tenir compte de l'équivalent mécanique des aliments qui la composent. Si l'on veut tirer des matières consommées tout le parti utile possible ; si l'on veut que les éléments nutritifs soient digérés et fixés dans l'organisme au maximum ; en un mot, si l'on veut nourrir

tré par ce qui a été dit dans cet ouvrage, pour qu'il soit nécessaire d'insister plus longuement sur ce sujet.

économiquement, il importe de se préoccuper avant tout de la relation nutritive qui, chez les sujets entretenus, porte au maximum la digestibilité de la protéine brute.

Or, il a été établi par de nombreuses recherches chimiques directes et par les expérimentations rigoureuses de Wolff, Funke, Kreuzhage, Kellner, Vossler, Mehlis, Sanson, etc., etc., que chez les équidés adultes, tels que le sont ceux utilisés dans l'armée, c'est le rapport $\frac{1 \text{ M A}}{5 \text{MN A}}$ qui est le seul vrai. Lorsque la proportion des matières albuminoïdes est augmentée, le surplus est éliminé avec les excréments.

En ce qui concerne les animaux agricoles, ce n'est point là un inconvénient absolu, car ces matières, perdues pour la nutrition, se retrouvent dans les fumiers, où elles ont comme substances fertilisantes une valeur qui revient toujours moins cher que celle des engrais qu'on achète. Dans l'armée, où la même considération est sans valeur aucune, il convient de ne rien faire consommer gratuitement.

Pour cela, la connaissance précise de la composition immédiate des denrées alimentaires avec lesquelles la ration doit être constituée, devient indispensable. Cette connaissance ne peut être acquise que par l'analyse directe des aliments à mettre en œuvre. Mais cette opération, à l'aide de laquelle on constate les écarts de composition immédiate quantitative plus ou moins considérables, qui se présentent normalement, suivant la qualité et la provenance des végétaux, n'est malheureusement pas praticable dans l'administration militaire, où il faudrait créer et outiller à grands frais un service spécial.

A défaut de ce moyen, on se servira avantageusement des tables de Gohren, qui ne donnent, il est vrai, que des indications pratiques approximatives, mais avec lesquelles les erreurs ne peuvent avoir de bien grandes conséquences, pour peu que l'observateur prenne soin de les corriger à

mesure qu'elles lui seront indiquées par l'examen attentif des effets nutritifs obtenus.

Connaissant la teneur des denrées alimentaires en principes immédiats nutritifs qui entrent dans l'établissement de la relation, c'est-à-dire en protéïne brute, en matières solubles dans l'éther et en extractifs non azotés, ainsi que celle en eau ou en substance organique sèche (ce qui est indifférent), il est facile ensuite de composer la ration, de telle sorte que sa relation soit conforme à la limite posée plus haut, de telle sorte que, la protéïne brute représentant 1, la somme des matières solubles dans l'éther et des extractifs non azotés représente 5 au plus et au moins 4 à 4,5.

La loi de Henneberg, ou loi de compensation entre les extractifs et la partie digestible des fibres ligneuses qui restent en dehors de la relation, doit faire considérer comme avantageux de rester plutôt au-dessous de 5 pour le second terme. C'est le moyen de faire utiliser cette partie digestible des fibres brutes, dont la présence est indispensable dans la ration, et qui passerait inattaquée dans les déjections si les extractifs étaient en quantité suffisante pour parfaire tout seuls à ce second terme (1).

Les parts respectives que prennent dans la composition de ce même terme les matières solubles dans l'éther, dites grasses, et les extractifs non azotés, ne sont pas indifférentes. Nous savons, en effet, que le poids des premières doit être au moins le quart de celui de la protéine et ne peut dépasser le tiers (2).

Si nous prenons pour exemple le foin de bonne qualité,

---

(1) Voir pages 58 et 59 : Digestibillté relative des matières ligneuses.

(2) Voir page 56 : Digestibilité relative des matières grasses,

que nous considérons comme l'aliment normal du cheval adulte, nous avons la composition centésimale suivante :

Protéine brute.	Matières solubles dans l'éther.	Extractifs non azotés.	Relation nutritive	Rapport des matières grasses à la protéine.
—	—	—	—	—
10,60	2,60	52,88	1 : 5	1 : 4

Avec l'avoine, nous avons :

Protéine brute.	Matières solubles dans l'éther.	Extractifs non azotés.	Relation nutritive.	Rapport des matières grasses à la protéine.
—	—	—	—	—
12,00	6,00	56,60	1 : 5	1 : 2
		Moyennes.......	1 : 5	1 : 3

La ration normale pourrait donc indifféremment être composée de foin de pré de bonne qualité ou d'avoine de composition moyenne, ou de foin et d'avoine dans des proportions quelconques, s'il n'y avait à tenir compte que de la relation nutritive. Dans tous les cas, celle-ci serait satisfaisante. Mais d'autres considérations doivent encore intervenir. Deux au moins nous sont bien connues : celle du volume de la ration et celle des propriétés autres que les nutritives.

On sait que les viscères digestifs fonctionnent d'autant mieux qu'ils sont plus remplis, sans cependant que leurs parois soient distendues douloureusement. C'est par conséquent une condition nécessaire que la ration se présente sous un volume tel que l'estomac, à chaque repas, soit en état de réplétion.

L'estomac des équidés a une capacité nécessairement variable selon leur taille. D'après Haubner, les variations se maintiennent entre 6 et 15 litres. L'observation montre que, dans tous les cas, il est satisfait à la nécessité que nous visons en ce moment, lorsque dans la ration il entre un aliment grossier ou adjuvant séché à l'air, riche en fibres brutes ou ligneuses, 1 pour 100 du poids vif du sujet à nourrir, soit en foin de pré, par exemple, 5 kilogrammes pour un cheval

du poids de 500 kilogrammes. Ces 5 kilogrammes contiennent en ligneux indigestible environ 1.500 grammes, qui, absorbant dans l'intestin au moins six fois leur poids d'eau, forment un résidu dont le volume dépasse 9 décimètres cubes ou 9 litres quand il est expulsé après que tous les éléments digestibles de la ration ont été osmosés. En l'absence de ce résidu, remplissant le rôle de lest ou de ballast, la digestion est moins parfaite; une plus forte proportion des principes immédiats nutritifs contenus dans la ration échappe à son action; les aliments ingérés sont conséquemment moins bien utilisés.

C'est pourquoi ce cheval de 500 kilogrammes ne serait certainement pas nourri au même degré avec 5 kilogrammes d'avoine, bien qu'il reçût ainsi 100 grammes de protéine brute en plus. La raison en est que dans l'avoine il ne recevrait que 450 grammes de ligneux, pouvant fournir seulement un résidu final de 3 litres au plus.

Cette considération de volume n'est pas sans avoir une grande utilité économique et hygiénique; économique, en ce que sa mise en pratique contribue à faire produire à la ration son maximum d'effet utile; hygiénique, en ce que, par son observance, on évite les affections intestinales qui sont bien souvent la conséquence d'une nourriture trop alibile ou trop échauffante comme on dit vulgairement.

Les aliments n'agissent pas seulement en fournissant à l'organisme les principes immédiats nutritifs nécessaires pour l'entretenir et pour subvenir aux besoins du travail externe. Ils en contiennent d'autres qui, pour n'être point nutritifs, ne sont cependant pas dépourvus d'action. Au premier rang de ceux-ci s'en présente un qui nous intéresse particulièrement : c'est celui qui donne à l'avoine la propriété de mettre en jeu l'excitabilité du système nerveux du moteur.

M. Sanson, professeur à l'Ecole d'agriculture de Grignon, a exécuté sur ce principe immédiat des recherches directes

en vue de l'isoler et de mesurer expérimentalement l'intensité de son action (1).

Il résulte de l'exposé sommaire de cet intéressant travail, que le périsperme de la céréale en question contient un alcaloïde, désigné sous le nom d'*avénine*, et que toutes les variétés d'avoine cultivées paraissent aptes à élaborer. Mais cette aptitude se présente à des degrés très différents suivant la variété de la plante et le lieu où celle-ci a été cultivée. Les différences ne sont point qualitatives, elles sont seulement quantitatives : la substance élaborée est identique dans toutes les variétés. Les avoines blanches contiennent moins de principe excitant que celles de variété noire ; toutefois, pour certaines des premières, notamment pour celle cultivée en Suède, la différence est minime ; elle est au contraire considérable pour d'autres, celles de Russie en particulier. Mais il y a de fortes probabilités pour que les avoines blanches, d'une provenance quelconque (celle de Suède exceptée), soient moins excitantes que les noires ou ne le soient pas du tout.

Au-dessous de la proportion de 9 d'avénine pour 1000 d'avoine séchée à l'air, la dose est insuffisante pour exciter le cheval ; à partir de cette proportion, l'action excitante est certaine.

L'aplatissement du grain d'avoine, ou sa mouture, affaiblit considérablement sa propriété excitante, en altérant, selon toute probabilité, la substance à laquelle cette propriété est due ; avec l'avoine aplatie, l'action est plus prompte, mais beaucoup moins fort et moins durable. Cette action, immédiate et plus intense avec le principe isolé, se fait attendre quelques minutes avec l'avoine entière ; dans les

(1) Recherches expérimentales sur l'action excitante de l'avoine. (*Journal de l'anatomie et de la physiologie* de Ch. Robin. Mars et avril 1883.)

deux cas, elle va se renforçant jusqu'à un certain moment, puis s'affaiblit et se dissipe ensuite. La durée totale de l'effet d'excitation a toujours paru être d'environ une heure par kilogramme d'avoine ingérée. Enfin, des expériences comparatives ont démontré que, parmi les aliments utilisables par nos moteurs animés, l'avoine seule contient l'excitant spécial dont nous nous occupons ici.

Il est évident, d'après cela, que l'expérimentation scientifique a donné raison à ceux qui, pratiquement, considéraient cette denrée comme l'aliment indispensable pour les chevaux de l'armée. Il n'y a donc pas possibilité, sans porter atteinte à leur aptitude, de substituer entièrement à l'avoine, dans leur ration journalière, un aliment quelconque, si grande que puisse être la valeur nutritive de celui-ci.

En effet, pour l'exécution du travail en mode de vitesse, pour l'exécution du travail de cheval de guerre, l'essentiel est que les muscles se raccourcissent, dans le moindre temps, de la plus forte quantité possible; c'est précisément cette rapidité de contraction, dépendante du degré d'excitabilité du système nerveux moteur, qui passe au premier rang. Tout agent ayant la propriété de la mettre en jeu en l'augmentant favorise donc, à disposition égale du mécanisme, non point la puissance musculaire, mais la rapidité de ses manifestations.

Le tempérament des chevaux dans nos climats tempérés est tel qu'on ne peut point obtenir une allure vive un peu soutenue en l'absence d'une excitation neuro-musculaire artificielle. Leur travail total est dans tous les cas proportionnel à la quantité de protéine brute alimentaire qu'ils ont digérée et assimilée, conformément à l'équivalence connue ; mais ce travail ne se dépense en mode de vitesse que si leurs nerfs sont excités.

Dans les climats chauds, il en est autrement : l'excitabilité nerveuse normale est suffisante; elle n'a pas besoin

d'excitant artificiel. Indépendamment de ce que la machine animée a un rendement plus fort, selon toute apparence, elle dépense son travail accumulé en mode de vitesse sans aucune difficulté. Par conséquent, la protéine brute que l'avoine fournit à la ration peut, en ce dernier cas, être indifféremment empruntée à un autre aliment concentré quelconque, en tenant compte toutefois du prix de la denrée et des coefficients de digestibilité différents.

Sous tous les climats, la machine animée se passe facilement d'excitant spécial pour l'exécution du travail en mode de masse.

La connaissance que nous avons maintenant de l'équivalent mécanique des aliments, ou, en d'autres termes, de la quantité d'énergie que dégage dans l'organisme un poids déterminé d'aliments digestible au maximum, nous permet de distinguer, en ce qui concerne l'avoine, entre les propriétés nutritives et la propriété excitante spéciale.

Selon la quantité de travail à développer en mode de vitesse, il se peut qu'un défaut de concordance existe entre l'énergie et l'excitabilité nécessaire pour le développement de cette quantité de travail. Nous savons, par exemple, que les avoines excitantes contiennent, par kilogramme, une quantité d'avénine suffisante pour produire pendant une heure l'état d'excitation indispensable pour l'exécution du travail en mode de vitesse. Si le travail doit durer quatre heures, il faudra donc 4 kilos d'avoine pour maintenir cet état. Mais ces 4 kilos d'avoine ne contiennent généralement point la quantité d'énergie voulue pour alimenter ce travail. C'est ce qui a lieu notamment pour les chevaux de l'armée, qui, en trois heures et demie à quatre heures de manœuvres, exécutent un travail journalier d'un million de kilogrammètres en chiffre rond. L'énergie qui se dégage de 4 kilogrammes d'avoine ne correspond ou n'équivaut qu'à 800,000 kilogrammètres en moyenne. Dès lors, pour que ces

chevaux fussent convenablement alimentés, il leur faudrait une quantité de protéine supérieure à celle contenue dans ces 4 kilos d'avoine.

Sanson admet que le surplus nécessaire s'emprunte sans inconvénient à un autre aliment concentré quelconque, ce qui permet de donner la préférence à celui qui fournit la protéine alimentaire au plus bas prix de revient (1).

Contrairement à l'opinion du savant professeur de Grignon, nous pensons que l'avoine seule doit composer la ration de travail de nos chevaux, et cela pour les raisons que nous allons donner tout à l'heure.

Quant au mode de distribution qui permet d'obtenir de la ration d'avoine la plus grande somme d'effet utile, tout dépend du point de vue auquel on se place. Il est certain que, si cette denrée était uniquement administrée dans le but de produire la manifestation de son action spéciale, il y aurait lieu de se conformer aux principes formulés par l'auteur des *Recherches sur l'avénine*, à savoir : 1° que les meilleurs résultats sont obtenus quand on la distribue par fractions répétées dans le courant de la journée de travail, à cause évidemment de l'action fugace de son principe excitant; 2° que la dose entière, administrée en une seule fois, produit une excitation trop intense, excessive même quand elle est forte, mais moins durable et cessant avant la fin du travail; 3° que, dans tous les cas, son effet excitant se manifeste presque aussitôt après l'ingestion, et qu'il se dissipe bien avant que la digestion soit achevée ; 4° que plus l'ingestion est renouvelée fréquemment, plus l'effet excitant total est intense ; 5° que plus le temps écoulé entre le repas et la mise en marche est considérable, plus il y a d'effet excitant manifesté en

(1) D'après Sanson, au delà d'un kilogramme d'avoine excitante par heure de service, il y a production d'excitabilité excessive, superflue et produisant un gaspillage de force.

pure perte. Il résulte de ces données qu'on aurait tout intérêt à distribuer cette substance alimentaire au moment du départ du moteur, et à mesurer la quantité nécessaire d'après la durée du travail, à raison d'un kilogramme par heure de celui-ci.

Mais, dans l'armée, l'avoine n'est pas seulement donnée en vue d'exciter l'appareil nerveux de nos chevaux; c'est aussi l'aliment de force par excellence, celui qui fournit la protéine avec laquelle ils alimentent leur aptitude mécanique, et que nul autre n'a encore remplacé avantageusement ou économiquement. Or, l'expérience a démontré que l'avoine distribuée après le travail est plus complètement digérée, plus parfaitement assimilée et que, à poids égal, elle introduit dans l'organisme une plus forte quantité d'énergie.

De cela nous concluons que, pour permettre à nos chevaux de retirer le bénéfice le plus élevé de leur ration journalière d'avoine, il conviendrait de la distribuer ainsi qu'il suit :

Après le travail du matin......	2 kilogrammes.
Après le pansage du soir......	le reste de la ration.

Si les circonstances obligeaient de donner l'avoine avant la mise en marche, il serait bon de procéder à cette opération au moins une heure avant la sortie de l'écurie.

CHAPITRE VIII

CALCUL ET COMPOSITION DE LA RATION DU CHEVAL DE TROUPE

Si l'on envisage cette question au double point de vue des intérêts du Trésor et de la défense nationale, on n'hésitera pas à admettre que la ration du cheval de troupe doit être calculée et composée de telle sorte qu'elle fournisse les matériaux nécessaires à l'entretien de l'organisme, à la

réparation des forces consommées par le travail et à l'augmentation de l'aptitude mécanique de la machine (1).

a) *Entretien de l'organisme.* — L'expérience et l'expérimentation ont surabondamment prouvé, qu'une ration ne peut assurer le bon entretien de la machine animale, qu'à la condition de contenir en proportion suffisante l'aliment essentiel du sujet qu'elle a pour but de nourrir. Dans l'espèce, c'est le bon foin de pré, dont la quantité nécessaire a été déterminée par de nombreuses recherches, qui garantit son fonctionnement normal.

A l'égard du lest qu'il fournit par ses fibres indigestibles, ce foin peut être remplacé par de la paille, dont le prix de revient est beaucoup moins élevé. Pour le reste, il ne le peut pas, à cause de sa relation nutritive naturelle. Dans la proportion de 1 p. 100 du poids vif, que nous avons indiquée, il contient, en moyenne, par kilogramme, 85 grammes de protéine alimentaire, digestible à raison de 60 p. 100. Il en fournit donc ainsi par 100 kilogs de poids vivant, $\frac{85 \times 60}{100} = 51$ grammes à l'entretien des tissus, conformément aux lois naturelles.

Qu'on observe des chevaux constamment nourris avec des foins de légumineuses, ce n'est point contestable. Mais il faut remarquer qu'il s'agit de jeunes chevaux en période de croissance, n'ayant par conséquent pas à s'entretenir, ou de chevaux adultes qui s'entretiennent mal et ne durent pas longtemps s'ils ont à fournir un fort travail.

La durée du cheval de troupe étant un des principaux éléments d'économie pour le Trésor, il y a un intérêt considérable à l'entretenir dans les meilleures conditions, et il est évident que c'est son aliment naturel qui remplit le

(1) On sait que cette aptitude est directement proportionnelle à la puissance digestive de l'organisme.

mieux cette condition. Encore une fois, toute ration de cheval entretenu comme moteur doit avoir pour base invariable une quantité de bon foin de pré égale à 1 p. 100 de son son poids vif, constituant à la fois l'aliment essentiel d'entretien, par sa protéine alimentaire, et l'aliment adjuvant ou lest, par ses fibres brutes ou ligneuses indigestibles, auxquelles se joignent celles de la paille qui passe par le râtelier avant de servir pour la litière (1).

b) *Réparation des pertes causées par le travail.* — Pour déterminer la quantité de nourriture nécessaire à la réparation des pertes causées par le travail du cheval de troupe, il importe d'évaluer ce travail aussi exactement que possible et de faire l'application judicieuse de l'équivalent mécanique des aliments.

L'évaluation mathématique du quantum de travail exigé de nos moteurs présente bien souvent dans la pratique des difficultés insurmontables pour l'avoir rigoureuse. Quant à nous, s'il nous a été facile d'estimer, d'après nos propres observations, la durée moyenne du fonctionnement de nos chevaux et la vitesse de leurs allures, il n'en a pas été de même quand il s'est agi de déterminer la mesure de leur effort, variable, comme on le sait, suivant le mode de l'allure. L'emploi du dynamomètre, instrument compliqué dont les hommes spéciaux savent seuls se servir, nous ayant donné, dans certains cas, des résultats tellement en désaccord avec ceux consignés dans les ouvrages de mécanique pratique, nous avons cru plus sage de nous contenter d'approximations tirées de l'analogie entre les cas devant

(1) Le bon fonctionnement des viscères digestifs étant assuré lorsque l'alimentation fournit, en fibres brutes, 1 pour 100 du poids vif, on devra donc accorder aux corps montés en grands chevaux (cuirassiers, artillerie, train) une ration de paille proportionnellement supérieure à celle qui est allouée aux corps montés en petits chevaux, si l'on veut que la litière soit uniformément abondante dans tous les régiments.

lesquels nous nous sommes trouvés et ceux pour lesquels des calculs ont été faits par des spécialistes expérimentés. Nous possédons heureusement un assez grand nombre de ces derniers pour qu'il nous soit possible d'évaluer, avec une approximation largement suffisante, le travail de nos aides.

Pour ce qui concerne l'application de l'équivalent mécanique des aliments, ou l'établissement de l'équation entre l'alimentation du moteur et la quantité de travail qu'il doit déployer pour accomplir son service, nous avons cherché à simplifier le calcul, en réduisant l'expression de la ration de travail à celle de la protéine brute alimentaire, étant entendu qu'elle implique la relation nutritive avec son second terme et aussi l'adjuvant nécessaire pour fournir le lest. Si nous disions, par exemple, qu'il faut un kilo de protéine brute pour réparer les pertes causées par le travail que nos chevaux doivent fournir, cela signifie 6 kilogrammes de substance sèche alimentaire, dont 5 kilos de matières solubles dans l'éther et hydrates de carbone, plus le ligneux qui les accompagne pour que la ration atteigne son volume normal.

Donnée seule, la protéine brute n'alimente point. En la qualifiant d'alimentaire, on indique suffisamment les compléments auxquels elle doit la propriété d'alimenter la source du travail. C'est même ce qui rend oiseuses, pratiquement, les controverses sur la question de savoir si cette cette source est bien, comme nous le pensons, dans les albuminates plutôt que dans les hydrates de carbone et les matières grasses, comme le supposent les physiologistes anglais et allemands. Il suffit de constater que ni les uns ni les autres, administrés isolément et exclusivement, ne pourraient constituer une ration de travail, pour savoir que, pratiquement, la question n'a aucune importance.

Ce qui est seulement vrai, c'est que la source du travail

est dans la protéine alimentaire, dont la définition vient d'être donnée, et que, par conséquent, on l'amoindrit en renforçant isolément soit le premier, soit le second terme de la relation nutritive convenable, parce que la modification dans les deux sens a pour effet nécessaire de produire une dépression de la digestibilité des albuminates et des hydrates de carbone à la fois.

Sachant, d'autre part, que l'équivalent mécanique du kilogramme de protéine alimentaire sèche à été évalué expérimentalement à 1,600,000 kilogrammètres, rien ne nous empêche plus de calculer la ration nécessaire pour le travail que nous exigeons de nos chevaux. Mais, avant de faire ce calcul, il est bon de préciser le genre d'aliment auquel il importe d'emprunter cette protéine.

Certains auteurs admettent que le but pourrait être atteint en augmentant le poids de l'aliment essentiel d'entretien. A cela il est facile de répondre que le foin contient une proportion de cellulose brute dont le volume ne permettrait pas d'introduire dans l'estomac des solipèdes une quantité suffisante de principes nutritifs et réparateurs ; que l'ingestion copieuse de cette substance surchargerait les viscères digestifs, nuirait à l'exécution de la fonction respiratoire et s'opposerait par suite aux efforts de l'animal dont on veut obtenir des mouvements libres et aisés.

Ce n'est donc pas au foin qu'il faut demander de fournir de la force; c'est aux aliments concentrés. Parmi ceux-ci, l'orge (dans nos climats), le maïs, le sarrasin, le son de froment, les biscuits-fourrages plus ou moins nutritifs, les préparations alimentaires plus ou moins condensées, etc., etc., poussent à l'engraissement au détriment de la vigueur et de la résistance. L'avoine, au contraire, donnée en quantité suffisante, entretient le cheval en bon état, affermit son système musculaire, excite son appareil nerveux, augmente son énergie et développe son aptitude mécanique. Pour s'en

convaincre, il suffit de comparer le travail du cheval engraissé par l'alimentation azotée et farineuse avec celui que produit le cheval convenablement avoiné, même après la cessation de l'effet spécial de l'avénine.

Pour tous ces motifs, nous sommes partisan de constituer la ration de force de nos chevaux exclusivement avec l'avoine et préférablement à n'importe quel autre aliment concentré, si riche soit-il en principes nutritifs.

Estimons maintenant le travail exigé de nos moteurs et calculons, d'après les principes que nous avons posés, la quantité de protéine qui leur est nécessaire pour suffire à ce travail.

Rappelons que les facteurs du calcul sont pour notre cas particulier :

1° La *durée du travail*, évaluée en moyenne à trois heures et demie par jour et répartie en deux heures de pas, une heure de trot et une demi-heure de galop ;

2° La *vitesse des allures*, que nous estimons à $1^m,10$ pour le pas, $2^m,20$ pour le trot et $4^m,40$ pour le galop ;

3° Le *poids de la charge*, variable selon les armes, et que nous spécifierons pour chaque cas particulier ;

4° Le *coefficient de l'effort*, qui, pour le déplacement du corps et le travail à dos, est, au pas, 0,05 du poids de la masse déplacée et de la charge transportée ; au trot, 0,10 du même poids ;

5° *Le coefficient du tirage*, qui, pour le travail en mode de traction, varie entre 0,20 et 0,01 du poids à déplacer, suivant la nature du sol et une foule d'autres circonstances que nous avons énumérées plus haut.

CAVALERIE LÉGÈRE

TRAVAIL EXTÉRIEUR

Poids du cheval.		Coefficient de l'effort.		Vitesse des allures.		Durée du travail exprimée en secondes.		Kilogrammètres.	
—		—		—		—		—	
400k	×	0,05	×	1,10	×	7,200	=	158,400	Travail au pas.
400k	×	0,10	×	2,20	×	3,600	=	316,800	— au trot,
400k	×	0,10	×	4,40	×	1,800	=	316,800	— au galop.

Soit = 792,000 kilogrammètres pour le travail extérieur total, c'est-à-dire pour le déplacement du moteur aux diverses allures réglementaires.

TRAVAIL UTILE

Poids de la charge.		Coefficient de l'effort.		Vitesse des allures.		Durée du travail exprimée en secondes.		Kilogrammètres.	
—		—		—		—		—	
80k	×	0,05	×	1,10	×	7,200	=	31,680	Travail au pas.
80k	×	0,10	×	2,20	×	3,600	=	63,360	— au trot.
80k	×	0,10	×	4,40	×	1,800	=	63,360	— au galop.

Soit = 158,400 kilogrammètres pour le travail utile ou disponible, c'est-à-dire pour le transport de la charge aux différentes allures réglementaires.

Le travail total sera donc de 792,000 + 158,400 = 950,000 kilogrammètres. La ration de travail devra nécessairement contenir :

$$\frac{950,000}{1,600,000} = 0 \text{ kil. } 594 \text{ grammes de protéine.}$$

L'avoine contenant en moyenne 12 pour 100 de cette matière, il faudra donner par jour aux chevaux de cavalerie légère :

$$\frac{594 \times 100}{12} = 4 \text{ kil. } 950 \text{ grammes de la céréale en question.}$$

CAVALERIE DE LIGNE

TRAVAIL EXTÉRIEUR

Poids du cheval.		Coefficient de l'effort.		Vitesse des allures.		Durée du travail exprimée en secondes.		Kilogrammètres.	
—		—		—		—		—	
450k	×	0,05	×	1m,10	×	7,200	=	178,000	Travail au pas.
450k	×	0,10	×	2m,20	×	3,600	=	356,400	— au trot.
450k	×	0,10	×	4m,40	×	1,800	=	356,400	— au galop.

Soit = 890,800 kilogrammètres pour le travail extérieur total.

TRAVAIL UTILE

Poids de la charge.		Coefficient de l'effort.		Vitesse des allures.		Durée du travail exprimée en secondes.		Kilogrammètres.	
—		—		—		—		—	
90k	×	0,05	×	1m,10	×	7,200	=	35,640	Travail au pas.
90k	×	0,10	×	2m,20	×	3,600	=	74,280	— au trot.
90k	×	0,10	×	4m,40	×	1,800	=	74,280	— au galop.

Soit = 184,200 kilogrammètres pour le travail utile.

Le travail total sera : 890,800 × 184,200 = 1,075,000 kilogrammètres.

La ration de travail devra contenir : $\frac{1,075,000}{1,600,000}$ = 0 kil. 669 grammes de protéine, c'est-à-dire être composée de $\frac{669 \times 100}{12}$ = 5 kil. 575 gr. d'avoine.

CAVALERIE DE RÉSERVE

TRAVAIL EXTÉRIEUR

Poids du cheval.		Coefficient de l'effort.		Vitesse des allures.		Durée du travail exprimée en secondes.		Kilogrammètres.	
—		—		—		—		—	
500k	×	0,05	×	1m,10	×	7,200	=	202,000	Travail au pas.
500k	×	0,10	×	2m,20	×	3,600	=	396,000	— au trot.
500k	×	0,10	×	4m,40	×	1,800	=	396,000	— au galop.

Soit = 998,000 kilogrammètres pour le travail extérieur total.

TRAVAIL UTILE

Poids de la charge.		Coefficient de l'effort.		Vitesse des allures.		Durée du travail exprimée en secondes.		Kilogrammètres.	
—		—		—		—		—	
100k	×	0,05	×	1m,10	×	7,200	=	39,600	Travail au pas.
100k	×	0,10	×	2m,20	×	3,600	=	79,200	— au trot.
100k	×	0,10	×	4m,40	×	1,800	=	79,200	— au galop.

Soit = 198,000 kilogrammètres pour le travail utile.

Travail total 998,000 + 198,000 = 1,192,000 kilogrammètres.

Protéine nécessaire = $\frac{1,192.000}{1,600,000}$ = 0 kil. 745 grammes.

Quantité d'avoine qui doit être distribuée = $\frac{745 \times 100}{12}$ = 6 k. 208 gr.

ARTILLERIE

TRAVAIL EXTÉRIEUR

Poids du cheval.		Coefficient de l'effort.		Vitesse des allures.		Durée du travail exprimée en secondes.		Kilogrammètres.	
—		—		—		—		—	
500k	×	0,05	×	1m,10	×	7.200	=	202,000	Travail au pas.
500k	×	0,10	×	2m,20	×	3,600	=	396,000	— au trot.
500k	×	0,10	×	4,m40	×	1,800	=	396,000	— au galop.

Soit = 994,000 kilogrammètres pour le travail extérieur.

TRAVAIL UTILE

Le poids moyen de la charge à transporter, pièce, affût, avant-train, est de 1.600 kilos à diviser par 6 = 250 kilos par cheval. Le coefficient du tirage variant entre 0,20 et 0,01 de la masse peut être évalué à une moyenne de 7 kilos par moteur. Par conséquent, nous calculerons le travail utile de cette catégorie de chevaux de la façon suivante :

Coefficient du tirage.		Vitesse des allures.		Durée du travail exprimée en secondes.		Kilogrammètres.		
—		—		—		—		
7k	×	1m,10	×	7,200	=	55,440	Travail	au pas.
7k	×	2m,20	×	3,600	=	55,440	—	au trop.
7k	×	4m,40	×	1,800	=	55,440	—	au galop.

Soit = 166,320 kilogrammètres pour le travail utile.

Travail total 994,000 + 166,320 = 1,160,320 kilogrammètres.

NOTA. — Le travail à dos des porteurs n'est pas compris dans ce calcul ; nous nous en occuperons plus loin.

Protéine nécessaire $= \frac{1,160.320}{1,600,000} =$ 0 kil. 725 grammes.

Quantité d'avoine qui doit être distribuée $\frac{725 \times 100}{12} =$ 6 k. 041 gr.

TRAIN DES ÉQUIPAGES

TRAVAIL EXTÉRIEUR

Poids du cheval.		Coefficient de l'effort.		Vitesse des allures.		Durée du travail exprimée en secondes.		Kilogrammètres.	
—		—		—		—		—	
475k	×	0,05	×	1m,10	×	7,200	=	188,064	Travail au pas.
475k	×	0,10	×	2m,00	×	3,600	=	342,000	— au trot.
475k	×	0,10	×	3m,50	×	1,800	=	299.250	— au galop.

Soit = 829,314 kilogrammètres pour le travail extérieur.

TRAVAIL UTILE

D'après nos recherches personnelles et souvent vérifiées, le poids moyen de la charge à transporter doit être évalué ici à 300 kilos par cheval. Nous avons également constaté que le coefficient du tirage ne s'élève guère souvent au-dessus de 0,01. Le travail utile des chevaux et mulets du train se calculera donc ainsi :

Coefficient du tirage.		Vitesse des allures.		Durée du travail exprimée en secondes.		Kilogrammètres.	
—		—		—		—	
3k	×	1m,10	×	7,200	=	23,760	Travail au pas.
3k	×	2m,00	×	3,600	=	21,600	— au trot.
3k	×	3m,50	×	1,800	=	13,500	— au galop.
				Soit	=	57,860 kilogrammètres pour	

e travail utile.

Travail total : 929,314 + 57,860 = 987,174 kilogrammètres.

Protéine nécessaire : $\frac{987,174}{1,600,000} = 0$ k. 616.

Quantité d'avoine qui doit être distribuée $\frac{616 \times 100}{12} = 5$ k. 133 gr. (1).

L'estimation que nous venons de faire du travail journalier du cheval de troupe, et qui se rapporte seulement à celui qu'il exécute en temps ordinaire, n'a rien d'exagéré. Les Allemands, qui l'évaluent à 1,500,000 kilogrammètres, ne demandent pas à leurs chevaux plus d'efforts que nous n'en exigeons des nôtres.

C'est donc d'après les bases que nous venons de poser qu'il convient d'alimenter la source du travail que nos moteurs fournissent pendant la plus grande partie de l'année.

Est-ce à dire pour cela que les rations de force établies plus haut soient suffisantes pour tous les exercices ? Evidemment non.

Le service en campagne, les grandes manœuvres, les changements de garnison, etc., nécessitent une dépense

(1) Pour l'estimation du travail du cheval de troupe, voir l'intéressant travail de M. Poite (*Recueil de médecine vétérinaire militaire*, t. 9, 2e série).

journalière de force qu'on peut évaluer en moyenne à près de 3 millions de kilogrammètres.

Ce n'est donc pas avec les quantités de protéine indiquées précédemment que nos chevaux accompliront ce travail et se maintiendront en état de puissance productive.

Pour les rendre aptes à fournir cette somme d'efforts et, partant de là, pour les préparer à supporter les rudes fatigues de la guerre, il faut augmenter graduellement leur aptitude mécanique en leur donnant une alimentation copieuse (1) et en les soumettant à un entraînement rationnel. C'est de cette préparation que nous allons nous occuper dans le paragraphe suivant.

c) *Augmentation de l'aptitude mécanique de la machine animale.* — L'expérience démontre que la capacité mécanique d'un cheval qui n'a pas été entraîné pour les travaux de la guerre, n'est pas suffisante. Il faut donc l'élever en temps de paix par une augmentation méthodique de la somme d'efforts qu'il fournit journellement.

Il en résulte une accoutumance progressive du corps du cheval à une plus grande dépense de force et une solide éducation gymnastique pour ses organes. Mais cette accoutumance n'est possible qu'à la condition d'introduire dans l'organisme, sous forme d'aliments, une quantité d'énergie supérieure à celle qui se détruit sous l'influence du travail.

Alors seulement la gymnastique méthodique dont il est question ici produit le développement des os, des muscles, du cœur et des poumons, en même temps qu'elle accroît la puissance digestive et la force d'assimilation.

Or, ne sait-on pas que, seul, un cheval, doué à d'un bon

(1) La quantité de matières alimentaires sèches qu'un cheval peut utilement consommer dans les vingt-quatre heures varie entre 2,5 et 3 pour 100 de son poids vif. Au-dessus de cette proportion, ce n'est plus l'aptitude mécanique qui augmente, c'est au contraire la graisse qui s'accumule dans les tissus et la capacité de travail qui diminue.

appareil locomoteur, d'un cœur puissant et de poumons au jeu facile, pourra fournir un effort considérable ? Et, seul aussi, un cheval qui possède une grande puissance digestive et une force d'absorption considérable pourra, après de grandes fatigues, se remettre rapidement de sa lassitude et devenir capable de nouveaux efforts.

La possibilité de développer chez le cheval la capacité de travail par une élévation dans les exigences auxquelles on le soumet, résulte des considérations physiologiques suivantes :

1° Lorsqu'un muscle se contracte, la circulation s'accélère dans son épaisseur, l'afflux sanguin y devient plus considérable, sa nutrition est plus complète et plus rapide et sa vitalité augmente. Ceci conduit, par une pratique fréquente et l'accroissement méthodique de l'activité fonctionnelle, à l'augmentation du nombre des fibres. Or, comme du nombre des fibres musculaires dépend la force du muscle, il en résulte qu'un muscle exercé devient d'autant plus apte à supporter un travail plus considérable, qu'il se fatigue moins rapidement et qu'il se remet plus vite de sa fatigue. Par conséquent, on peut obtenir, par une bonne alimentation et un entraînement progressif, un développement de toute la musculature et une élévation dans la puissance physique de l'organisme tout entier.

Les ligaments et les tendons eux-mêmes acquièrent, par suite du travail, une plus grande force de résistance. Chez les jeunes chevaux, on voit aussi la charpente osseuse se développer et le tissu qui la constitue se densifier.

2° Il est absolument prouvé par l'expérience que les parois du cœur peuvent devenir notablement plus épaisses et plus fortes sous l'action d'un travail plus grand, qui en augmente le nombre des fibres. Il faut donc admettre que la puissance d'expansion de cet organe s'accroît lorsqu'on soumet l'activité du cheval à un développement systémati-

que. Les chevaux de pur sang, entraînés dès le jeune âge, ont un cœur beaucoup plus gros et beaucoup plus lourd (souvent du double) que les autres chevaux de même taille. Le viscère que le travail a rendu plus vaste et de parois plus épaisses; peut contenir une plus grande quantité de sang, qu'il chasse avec plus de force dans l'organisme. Il se contracte moins souvant durant le même temps, se fatigue par conséquent moins et permet à l'animal de supporter de plus grands efforts.

Le développement du cœur a pour conséquence celui de tout le système vasculaire et, partant, l'activité de nutrition de tous les organes, l'augmentation de leur capacité de travail et l'élimination rapide des substances, qui, en s'accumulant dans leur intérieur, produisent ce qu'on appelle la fatigue.

3° Les muscles de l'appareil respiratoire, de la force et de l'activité, desquels dépendent l'ampleur de la respiration et, par suite, la puissance d'effort du cheval, se comportent comme le reste de la musculature du squelette. Si on les exerce à l'aide d'une progression méthodique dans le travail et si on les amène à un fonctionnement plus actif (en supposant le cheval bien nourri), ils s'accroîtreront en force et en puissance. En outre, on verra se développer l'élasticité des poumons, leur force d'expansion et conséquemment leur capacité respiratoire. C'est de cette dernière condition que dépend essentiellement la puissance d'effort du cheval.

4° L'alimentation riche et copieuse accoutume les organes de la digestion à un travail plus considérable, augmente la force de contraction de la paroi musculaire de l'intestin, accroît la sécrétion des fluides gastrique, salivaire, pancréatique, intestinaux, etc., stimule l'action des villosités intestinales et développe par conséquent la puissance de digestion de l'animal. Un appareil digestif exercé

digère donc une plus grande quantité de nourriture et met à la disposition du sujet une plus grande somme d'énergie.

5° Le travail élève la faculté de nutrition de tous les tissus, c'est-à-dire qu'il hâte la genèse et le renouvellement du fluide aux dépens duquel les matériaux de l'organisme se forment et se régénèrent. Ceci conduit, avec une nourriture suffisante, à l'augmentation des principes réparateurs et à la multiplication des éléments de force.

De ce qui précède, il résulte que, si l'on attend le commencement d'une guerre pour augmenter la ration et accroître par là la capacité de travail du cheval, cette manière de faire sera sans effet. Le manque d'habitude, le peu de puissance de l'appareil digestif, le défaut d'activité des organes d'absorption, mettent l'animal dans l'impossibilité de digérer, d'absorber et de s'assimiler le surcroît de nourriture qui lui est accordé. De plus, en raison du nombre insuffisant de leurs fibres et du diamètre restreint de leurs vaisseaux, les muscles restent au-dessous de leur tâche. Le développement et le perfectionnement de la machine animale ne peuvent être amenés que progressivement pendant la paix et non point tout d'un coup au début d'une campagne.

Ainsi qu'on vient de le voir, les heureux résultats de l'augmentation progressive du travail ne peuvent être obtenus que grâce à une alimentation abondante (1), qui fournit aux éléments anatomiques les matériaux nécessaires à leur accroissement et à leur multiplication rapide, et qui permet aux organes d'acquérir plus de puissance et d'accumuler finalement une plus grande somme d'énergie.

(1) Je répète ici que le cheval ne peut pas digérer *utilement* plus de 2 1/2 à 3 p. 100 de matières alimentaires sèches par 100 kilos de poids vif, et ce qui est donné en sus de cette proportion n'est d'aucune utilité pour la production du travail.

Au contraire, avec une nourriture insuffisante, l'augmentation de travail aura pour conséquence inévitable l'épuisement de l'économie tout entière. En effet, si l'on ne peut introduire dans la machine une quantité d'éléments de force en rapport avec le travail qu'elle fournit, non seulement les principes nutritifs seront tous utilisés et il ne restera plus rien pour son perfectionnement, mais encore une partie de la substance vivante se détruira pour suffire aux besoins de ce travail. L'animal s'affaiblira plus ou moins rapidement, il deviendra incapable de produire un effort soutenu et ne tardera pas à être impropre au service de guerre et même à celui de garnison.

Si, maintenant, on nous pose la question suivante : *La ration actuelle du cheval de troupe est-elle ou n'est-elle pas suffisante ?* il nous est facile de répondre par la négative.

En effet, la preuve indubitable de l'insuffisance de cette ration nous est fournie par la diminution progressive du poids du corps de tous nos chevaux (1) ; par l'état d'épuisement des sujets qui ont supporté de grandes fatigues ; par la pénurie de litière qu'on remarque dans tous les corps et surtout dans l'artillerie (2).

De ces faits, on peut conclure en toute certitude qu'il existe entre le travail et l'alimentation de nos chevaux une disproportion à laquelle il faut absolument porter remède, si l'on ne veut pas voir les moteurs animés de l'armée marcher insensiblement à la ruine.

A envisager cette question au point de vue théorique, ce

(1) Cette diminution est surtout appréciable chez les grands chevaux de cuirassiers et chez les gros chevaux d'artillerie; chez ceux, en un mot, qui, à travail utile égal, dépensent le plus d'énergie pour suffire aux nécessités du « travail extérieur » ou du déplacement de leur propre poids.

(2) Cette pénurie de litière rend le repos impossible, engendre la fatigue et produit l'usure rapide.

remède peut consister soit en une diminution de travail (beaucoup trop considérable eu égard à l'insuffisance de la nourriture), soit en une augmentation de ration.

Or, de cette diminution de travail il ne peut être question. Elle aurait pour conséquence de s'opposer à ce que les chevaux pussent être préparés par l'habitude aux durs travaux que nécessitent les exigences de la guerre moderne. Elle amènerait infailliblement le cheval de troupe à ne pas être à la hauteur de sa tâche en campagne.

Il faut donc recourir au second moyen, c'est-à-dire à l'élévation du taux de la ration. Mais, comme il s'agit ici d'accroître la puissance productive du cheval, cette élévation doit porter exclusivement sur la quantité d'avoine (1) que reçoit l'animal.

La question est maintenant de savoir en quoi doit consister cette augmentation.

Nous connaissons déjà la ration de force nécessaire à nos chevaux en temps ordinaire ; il ne nous reste plus à évaluer que la quantité de nourriture qui doit leur être donnée dans toutes les positions.

Toutefois, pour ne pas abuser de la patience de nos lecteurs, nous nous abstiendrons de reproduire ici les détails de calcul dans lesquels nous sommes entré pour établir le tarif des rations complètes du pied de guerre et les différentes positions du pied de paix.

Disons, cependant, que, dans l'établissement de ce tarif, nous avons tenu compte de la quantité de nourriture nécessaire au perfectionnement de l'aptitude mécanique de la machine animale ; — que, dans un but d'économie budgétaire, nous avons composé chaque ration de telle sorte que sa relation nutritive porte au maximum l'effet utile des aliments

(1) Nous avons donné, page 163, les raisons qui nous font demander à l'avoine de fournir de la force.

qui la composent; de même, nous avons fait fonctionner à notre profit la loi de compensation de Henneberg (voir pages 59 et 72) afin de tirer de la paille, dont la valeur commerciale est peu élevée, la proportion la plus élevée possible de fibres ligneuses digestibles.

Tarif des rations des chevaux de troupe.

CAVALERIE LÉGÈRE

FOIN.	PAILLE.	AVOINE.	RELATION NUTRITIVE (1).
A raison de 1 p. 100 du poids vif. Toutefois, en tenant compte des matières nutritives que fournit à l'organisme la digestion de la paille consommée, on peut, par mesure d'économie, réduire la ration de foin aux quantités ci-après:	Ne pas oublier qu'elle contribue à fournir le lest nécessaire, que le cheval à l'écurie se distrait en fourrageant sa paille, et que la litière abondante est indispensable pour remettre l'animal de ses fatigues.	Proportionnellement à la quantité d'énergie dépensée sous forme de travail et à celle nécessaire au perfectionnement de l'aptitude mécanique du cheval.	(En supposant que le quart de la ration de paille soit consommé par l'animal.)
Ration de garnison.			
3 kilos 750	4 kilos 500	4 kilos 950	$\frac{MA}{MNA}\ \frac{1}{5,4}$
Ration de route.			
3 kilos 750	2 kilos. A défaut de paille, augmenter la ration de foin de 1 kilogramme. (On ne peut pas allouer aux chevaux en route la ration de paille qu'on leur accorde en garnison à cause des pertes qui en résulteraient.)	5 kilos 450	$\frac{MA}{MNA}\ \frac{1}{5,2}$

(1) Abstraction faite de la paille, la relation nutritive de nos rations varierait entre $\frac{1}{4,8}$ et $\frac{1}{5}$. C'est du reste les rapports qui permettent d'utiliser dans une certaine mesure les fibres brutes de la paille consommée.

Nota. — Pendant les exercices de régiment qui précèdent les changements de garnison ou le départ pour les manœuvres, les chevaux devraient percevoir la ration de route, ce qui permettrait l'augmentation de leur aptitude mécanique.

Dans le calcul de la route nous tenons compte des séjours réglementaires pendant lesquels les chevaux emmagasinent de la force, et aussi de l'habitude au travail résultant de l'entraînement méthodique dont nous avons parlé.

Ration de manœuvres.

3 kilos 750	2 kilos ou augmenter la ration de foin de 1 k.	5 kilos 800	$\frac{MA}{MNA}$ $\frac{1}{5}$

Dans l'établissement de cette ration nous tenons compte des jours de repos et de l'aptitude acquise par le fait de l'entraînement.

Ration de campagne.

3 kilos 750	Id.	5 kilos 800	$\frac{MA}{MNA}$ $\frac{1}{5}$

Mêmes observations que celles concernant la ration de manœuvres (1).

CAVALERIE DE LIGNE

Ration de garnison.

FOIN.	PAILLE.	AVOINE.	RELATION NUTRITIVE
4 kilos 250	4 kilos 800	5 kilos 575	$\frac{MA}{MNA}$ $\frac{1}{5,4}$

Ration de route.

4 kilos 250	2 kilos ou à défaut 1 kilo de foin en plus.	6 kilos 075	$\frac{MA}{MNA}$ $\frac{1}{5.2}$

Ration de manœuvres.

4 kilos 250	2 kilos ou à défaut 1 kilo de foin en plus.	6 kilos 425	$\frac{MA}{MNA}$ $\frac{1}{5}$

Ration de campagne.

4 kilos 250	Id.	6 kilos 425	$\frac{MA}{MNA}$ $\frac{1}{5}$

(1) Les observations qui précèdent s'appliquent à toutes les armes.

CAVALERIE DE RÉSERVE

Ration de garnison.

FOIN.	PAILLE.	AVOINE.	RELATION NUTRITIVE
4 kilos 750	5 kilos	6 kilos 200 (en chiffre rond).	$\frac{MA}{MNA}\ \frac{1}{5,4}$

Ration de route.

4 kilos 750	2 kilos ou à défaut 1 kilo de foin en plus.	6 kilos 850	$\frac{MA}{MNA}\ \frac{1}{5,2}$

Ration de manœuvres.

4 kilos 750	Id.	7 kilos 250	$\frac{MA}{MNA}\ \frac{1}{5}$

Ration de campagne.

4 kilos 750	Id.	7 kilos 250	$\frac{MA}{MNA}\ \frac{1}{5}$

ARTILLERIE

Baudement admet que les chevaux d'un fort poids, 700 kilos par exemple, s'entretiennent aussi bien avec 5 kilos de foin que les chevaux de 500 kilos (1). A cela nos observations personnelles nous permettent d'objecter ce qui suit :

Les chevaux d'artillerie, dont le poids vif est sensiblement le même que celui des chevaux de cuirassiers, s'en distinguent néanmoins par des formes plus épaisses et plus trapues, par un tempérament moins nerveux, par un développement plus accusé de l'appareil digestif et par des exigences physiologiques relativement plus grandes.

Ce développement des organes intestinaux nécessite, d'après ce que nous savons, une plus grande quantité de lest, et ces besoins physiologiques imposent l'obligation d'augmenter la ration d'entretien de ces chevaux.

(1) Pour que cette quantité de foin puisse suffire au bon entretien de la machine, il est indispensable que les pertes occasionnées par le travail soient comblées par la « ration de force » ou d'avoine. C'est ce qui n'a pas lieu pour les chevaux de l'armée, pour ceux de cuirassiers et d'artillerie notamment, et c'est ce qui explique l'état d'épuisement dans lequel sont ces derniers.

Or, le tarif actuellement en vigueur attribue 2k,750 de foin aux chevaux de cuirassiers et 2k,500 seulement à ceux d'artillerie : c'est un tort. Pour s'en convaincre, il suffit de constater l'état de maigreur et d'épuisement de ces derniers ; il suffit de voir ces pauvres animaux chercher dans leur litière les plus petits fétus de paille et dévorer ceux mêmes qui dégagent une odeur infecte et présentent un aspect répugnant.

En conséquence de ces faits, nous croyons devoir établir la ration de ces chevaux ainsi qu'il suit :

Ration de garnison.

FOIN.	PAILLE.	AVOINE.	RELATION NUTRITIVE.
5 kilos	5 kilos	6 kilos (en chiffre rond.)	$\frac{MA}{MNA}$ $\frac{1}{5,5}$

Ration de route.

5 kilos	2 kilos ou à défaut 1 kilo de foin en plus.	6 kilos 650	$\frac{MA}{MNA}$ $\frac{1}{5,3}$

Ration de manœuvres.

5 kilos	Id.	7 kilos 050	$\frac{MA}{MNA}$ $\frac{1}{5,1}$

Ration de campagne.

5 kilos	Id.	7 kilos 050	$\frac{MA}{MNA}$ $\frac{1}{5,1}$

TRAIN DES ÉQUIPAGES

CHEVAUX

Ration de garnison.

FOIN.	PAILLE.	AVOINE.	RELATION NUTRITIVE.
4 kilos 500	4 kilos 800	5 kilos 100 (en chiffre rond.)	$\frac{MA}{MNA}$ $\frac{1}{5,5}$

Ration de route.

4 kilos 500	2 kilos ou à défaut 1 kilo de foin en p us.	5 kilos 400	$\frac{MA}{MNA}$ $\frac{1}{5,3}$

Ration de manœuvres.

4 kilos 500	Id.	5 kilos 700	$\frac{MA}{MNA}$ $\frac{1}{5,1}$

Ration de campagne.

4 kilos 500	Id.	5 kilos 700	$\frac{MA}{MNA}$ $\frac{1}{5,1}$

MULETS

Personne ne fera de difficulté pour admettre qu'il soit possible d'obtenir, à nourriture proportionnellement égale, plus de travail d'un mulet que d'un cheval de même force. Indépendamment de leur aptitude bien connue à puiser la protéine alimentaire à des sources qui seraient en grande partie nulles pour la plupart de nos chevaux, les mulets, modèles de sobriété, mettent en valeur des aliments dont nos autres moteurs animés ne pourraient extraire que peu de chose, et ils en tirent une forte quantité proportionnelle de travail disponible. Ce sont donc des machines à très grand rendement, dont l'entretien peut être assuré à bas prix et dont l'exploitation est relativement très économique.

Des nombreuses recherches que nous avons faites sur la nourriture et sur le travail de ces animaux, nous concluons à l'adoption définitive du tarif suivant :

Ration de garnison.

FOIN.	PAILLE.	AVOINE.	RELATION NUTRITIVE
3 kilos 500	3 kilos	3 kilos 500	$\frac{MA}{MNA}$ $\frac{1}{5,6}$

Ration de route.

3 kilos 500	2 kilos ou à défaut 1 kilo de foin en plus.	4 kilos	$\frac{MA}{MNA}$ $\frac{1}{5,4}$

Ration de manœuvres.

3 kilos 500	Id.	4 kilos 500	$\frac{MA}{MNA}$ $\frac{1}{5,2}$

Ration de campagne.

3 kilos 500	Id.	4 kilos 500	$\frac{MA}{MNA}$ $\frac{1}{5,2}$

APPENDICE

Analyse de différents échantillons d'avoine pris dans les magasins militaires.

ECHANTILLON N° 1. — Avoine noire de printemps, provenant du département l'Yonne et récoltée en 1887. Poids : 49 kil. après criblage.

Caryopse ou amande	70,12
Glumelles ou écorce	29,72
Graines étrangères nutritives (blé, orge, seigle ou vesce)	0,04
Graines étrangères nuisibles (ivraie, nielle, bluet, etc.)	0,02
Matières etrangères (gravier, terre, etc.)	0,08
Pertes par la décortication	0,02
TOTAL	100,00

Eau	12,50
Protéine brute (Az $\times$ 6,25)	11,20
Matières solubles dans l'éther	5,30
Extractifs non azotés (dosés par différence)	57,00
Cellulose brute	10,00
Matières minérales (cendres)	4,00
TOTAL	100,00

Relation nutritive......... $\frac{MA}{MNA}$ $\frac{11,20}{5,30+57} = \frac{1}{5,56}$.

ECHANTILLON N° 2. — Avoine bigarrée de printemps, provenant du département de l'Yonne et récoltée en 1887. Poids : 50 kilos après criblage.

Caryopse ou amande	75,57
Glumelles ou écorce	26,20
Graines étrangères nutritives (blé, orge, seigle ou vesce)	0,10
Graines étrangères nuisibles (ivraie, nielle, bluet, etc.)	0,02
Matières étrangères (gravier, terre, etc.)	0,06
Pertes par la décortication	0,05
TOTAL	100,00

Eau	9,01
Protéine brute (Az $\times$ 6,25)	12,56
Matières solubles dans l'éther	6,50
Extractifs non azotés (dosés par différence)	55,00
Cellulosee brute	11,43
Matière miiérales (cendres)	5,50
TOTAL	100,00

Relation nutritive....... $\frac{MA}{MNA}\ \frac{12,56}{6,50 + 55,00} = \frac{1}{5,69}$.

ECHANTILLON n° 3. — Avoine bigarrée d'hiver, provenant du département de l'Yonne et récoltée en 1887. Poids : 52 kilos après criblage.

Caryopse ou amande	74,81
Glumelles ou écorce	25,00
Graines étrangères nutritifs (blé, orge, seigle ou vesce)	0,10
Graines étrangères nuisibles (ivraie, nielle, bluet, etc.)	0,03
Matières étrangères (gravier, terre, etc.)	0,03
Pertes par la décortication	0,03
TOTAL	100,00
Eau	10,25
Protéine brute (Az $\times$ 6,25)	14,75
Matières solubles dans l'éther	5,90
Extractifs non azotés (dosés par différence)	62,00
Cellulose brute	4,10
Matières minérales (cendres)	3,00
TOTAL	100,00

Relation nutritive............ $\frac{MA}{MNA}\ \frac{14,75}{5,90 + 62,00} = \frac{1}{4,61}$.

ECHANTILLON n° 4. — Avoine bigarrée de printemps, provenant de Seine-et-Marne et récoltée en 1887. Poids : 51 kilos après criblage.

Caryopse ou amande	74,64
Glumelles ou écorce	25,15
Graines étrangères nutritives (blé, orge, seigle ou vescé)	0,09
Graines étrangères nuisibles, (ivraie, nielle bluet, etc.)	0,04
Matières étrangères (terre, gravier, etc.)	0,05
Pertes par la decortication	0,03
TOTAL	100,00

Eau	11,75
Protéine brute (Az $\times$ 6,25)	13,95
Matières solubles dans l'éther	5,05
Extractifs non azotés (dosés par différence)	59,10
Cellulose brute	6,08
Matières minérales (cendres)	4,07
Total	100,00

Relation nutritive......... $\frac{MA}{MNA}\ \frac{13,95}{5,05+59,10} = \frac{1}{4,59}$.

Echantillon n° 5. — Avoine noire de printemps, provenant de Seine-et-Marne et récoltée en 1887. Poids : 46 kilos après criblage.

Caryose ou amande	68,80
Glumelles ou écorce	30,93
Graines étrangères nutritives	0,20
Graines étrangères nuisibles	»
Matières étrangères	0,02
Pertes par la décortication	0.05
Total	100,00

Eau	13,27
Protéine brute	14,80
Matières solubles dans l'éther	6,00
Extractifs non azotés	49,58
Cellulose brute	12,10
Matières minérales	4,25
Total	100,00

Relation nutritive......... $\frac{MNA}{MA}\ \frac{14,80}{6,00+49,58} = \frac{1}{4,56}$.

Echantillon n° 6. — Avoine grise de printemps, provenant du Bourbonnais et récoltée en 1887. Poids : 50 kilos après criblage.

Caryopse ou amande	73,80
Glumelles ou écorce	25,91
Graines étrangères nutritives	0,15
Graines étrangères nuisibles	0,08
Matières étrangères	0,02
Pertes par la décortication	0,04
Total	100,00

Eau	9,10
Protéine brute	13,05
Matières solubles dans l'éther	5,50
Extractifs non azotés	57,00
Cellulose brute	8,00
Matières minérales	7,35
Total	100,00

Relation nutritive......... $\frac{MA}{MNA}\ \frac{13,05}{5,50+57}=\frac{1}{5,55}$.

Echantillon n° 7. — Avoine noire de printemps, provenant du Bourbonnais et récoltée en 1887. Poids :45 kilos après criblage.

Caryopse ou amande	66,82
Glumelles ou écorce	32,91
Graines étrangères nutritives	0,08
Graines étrangères nuisibles	»
Matières étrangères	0,15
Pertes par la décortication	0,04
Total	100,00

Eau	13,25
Protéine brute	12,95
Matières solubles dans l'éther	5,95
Extractifs non azotés	50,80
Cellulose brute	13,15
Matières minérales	3,90
Total	100,00

Relation nutritive......... $\frac{MA}{MNA}\ \frac{12,95}{5,95+50,80}=\frac{1}{4,38}$.

Echantillon n° 8. — Avoine grise d'hiver, provenant d'Eure-et-Loir et récoltée en 1887. Poids : 51 kilos après criblage.

Caryopse ou amande	72,25
Glumelles ou écorce	27,61
Graines étrangères nutritives	»
Graines étrangères nuisibles	0,05
Matières étrangères	0,04
Pertes par la décortication	0,05
Total	100,00

Eau	10,00
Protéine pure	15,00
Matières solubles dans l'éther	5,40
Extractifs non azotés	61,50
Cellulose brute	5,10
Matières minérales	3,00
TOTAL	100,00

Relation nutritive......... $\frac{MA}{MNA}\ \frac{15,00}{5,40+61,50}=\frac{1}{4,46}$.

ECHANTILLON n° 9. — Avoine grise de printemps, provenant d'Eure-et-Loir et récoltée en 1887. Poids: 48 kilos après criblage.

Caryopse ou amande	70,74
Glumelles ou écorce	28,00
Graines étrangères nutritives	1,15
Graines étrangères nuisibles	0,05
Matières étrangères	0,02
Pertes par la décortication	0,04
TOTAL	100,00

Eau	14,00
Protéine brute	11,90
Matières solubles dans l'éther	5,50
Extractifs non azotés	61,50
Cellulose brute	4,10
Matières minérales	3,00
TOTAL	100,00

Relation nutritive............ $\frac{MA}{MNA}\ \frac{11,90}{5,50+61,50}=\frac{1}{5,62}$

ECHANTILLON n° 10 — Avoine grise de printemps provenant du Cher et récoltée en 1887. Poids: 49 kilos après criblage.

Caryopse ou amande	72,31
Glumelles ou écorce	27,50
Graines étrangères nutritives	0,10
Graines étrangères nuisibles	0,05
Matières étrangères	0,02
Pertes par la décortication	0,02
TOTAL	100,00

Eau	10,95
Protéine brute	12,25
Matières solubles dans l'éther	3,77
Extractifs non azotés	64,63
Cellulose brute	6,30
Matières minérales	2,10
TOTAL	100,00

Relation nutritive............... $\frac{\text{MA}}{\text{MNA}}\ \frac{12,25}{3,77+64,63}=\frac{1}{5,58}.$

ECHANTILLON N° 11. — Avoine grise d'hiver, provenant du Cher et récoltée en 1887. Poids : 47 kilos.

Caryopse ou amande	68,63
Glumelles ou écorce	31,10
Graines étrangères nutritives	0,10
Graines étrangères nuisibles	0,08
Matières étrangères	0,05
Pertes par la décortication	0,04
TOTAL	100,00

Eau	15,50
Protéine brute	10,25
Matières solubles dans l'éther	3,75
Extractifs non azotés	54,50
Cellulose brute	14,00
Matières minérales	2,00
TOTAL	100,00

Relation nutritive............... $\frac{\text{MA}}{\text{MNA}}\ \frac{10,25}{2,75+54,50}=\frac{1}{5,38}.$

ECHANTILLON N° 12. — Avoine blanche de Russie (étuvée).

Caryopse ou amande	66,90
Glumelles ou écorce	32,60
Graines étrangères nutritives	0,16
Graines étrangères nuisibles	0,15
Matières étrangères	0,15
Pertes par la décortication	0,04
TOTAL	100,00

Eau	1,50
Protéine brute	12,50
Matières solubles dans l'éther	3,15
Extractifs non azotés	51,00
Cellulose brute	16,30
Matières minérales	15,55
TOTAL	100,00

Relation nutritive $\frac{MA}{MNA}\ \frac{12,50}{3,15+51} = \frac{1}{4,33}$.

FIN

TABLE DES MATIÈRES.

Pages.

Rapport de la section technique de la cavalerie sur le mémoire de M. Rigollat, vétérinaire militaire........................ 5
Avant-Propos.. 19

PREMIÈRE PARTIE

DIGESTION, ALIMENTATION, NUTRITION. CALORIFICATION ET TRAVAIL MUSCULAIRE

Chap. Ier. *De la digestion des substances alimentaires*........... 22
§ 1. Définition. — Objet.. 22
§ 2. Phénomènes mécaniques de la digestion.................. 23
§ 3. Phénomènes chimiques de la digestion.................... 28
Chap. II. *Des aliments*... 38
Chap. III. *Absorption, nutrition, sécrétions*...................... 74
§ 1. Absorption... 74
§ 2. Du chyle.. 76
§ 3. Propriétés physiques et composition chimique du sang 79
§ 4. Nutrition et sécrétions...................................... 85
Chap. IV. *Calorification*.. 89
§ 1. Principes généraux.. 89
§ 2. Chaleur animale.. 92
§ 3. Sources de la chaleur animale.............................. 93
Chap. V. *Travail musculaire*...................................... 101
§ 1. Contraction musculaire..................................... 101
§ 2. Source de l'énergie.. 109
§ 3. Réparation des pertes causées par le dégagement de l'énergie.. 116

DEUXIÈME PARTIE

PRODUCTION ET EXPLOITATION DE LA FORCE MOTRICE

Chap. Ier. *Aptitude mécanique du cheval*......................... 123
Chap. II. *Décomposition du travail*............................... 127
Chap. III. *Mode d'emploi de la force motrice*..................... 131
Chap. IV. *Aptitudes spéciales*..................................... 134
Chap. V. *Rendements comparatifs*................................. 145
Chap. VI. *Calcul du travail*.. 148
Chap. VII. *Alimentation des moteurs animés de l'armée*....... 155
Chap. VIII. *Calcul et composition de la ration du cheval de troupe*.. 164
Appendice.. 185

Paris et Limoges. — Imp. militaire Henri Charles-Lavauzelle

15

